



Islamic Azad University , Shiraz Branch
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis



نشریه تحلیل مدارها، داده‌ها و سامانه‌ها





نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها

هیات تحریریه

دانشگاه آزاد اسلامی شیراز	دکتر حامد آگاهی	مدیر مسئول
دانشگاه صنعتی شیراز	دکتر طاهر نیکنام	سر دبیر
دانشگاه آزاد اسلامی شیراز	دکتر زهرا مقصودزاده سروسستانی	مدیر داخلی

هیات تحریریه

دانشگاه صنعتی شیراز	دکتر طاهر نیکنام	استاد
دانشگاه شیراز	دکتر رحیم غیور	استاد
دانشگاه شیراز	دکتر حبیب اله عبیری	استاد
دانشگاه صنعتی خواجه نصیر	دکتر حمید خالوزاده	استاد
دانشگاه بین المللی امام خمینی	دکتر اصغر کشت کار	استاد
دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکتر محمدباقر منهج	استاد
دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات	دکتر محمد ناصر مقدسی	استاد
دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله	دکتر حسن توکلی	استاد
دانشگاه شهید بهشتی	دکتر سید ابراهیم افجه ای	استاد
دانشگاه آزاد اسلامی شیراز	دکتر حامد آگاهی	دانشیار
دانشگاه آزاد اسلامی قزوین	دکتر احمد فخاریان	دانشیار
دانشگاه آزاد اسلامی قزوین	دکتر امیرمسعود افتخاری مقدم	دانشیار
دانشگاه شهرکرد	دکتر مجید ابن علی	دانشیار
دانشگاه آزاد اسلامی شیراز	دکتر محمدصادق جوادی	دانشیار



نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها

سال دوم - شماره ششم - تابستان ۱۴۰۳

فهرست مقالات

ردیف	عنوان مقاله / نویسندگان	صفحه
۱	یک ضرب کننده چهاربیتی بهینه سازی شده با استفاده از روش ورودی دروازه شناور انتقالی جواد حسنی ، نبی اله شیرینی* ، فرشاد پسران	۱
۲	تشخیص خودکار گفتار رقمی با استفاده از شبکه عصبی اسپایکینگ عمیق بر اساس وزن دهی فازی ملیکا حامیان، کریم فایز* ، سهیلا نظری، ملیحه ثابتی	۱۰
۳	تحلیل داده های شرکت های بازاریابی با استفاده از خوشه بندی K-Means بهبود یافته و مدل LRFMM2 عطیه میرزایی، زهرا رضایی*	۱۹
۴	بررسی و تحلیل تاثیر کیفیت خدمات و اعتماد بر وفاداری مشتریان در تجارت الکترونیکی علی نقی رضائی، سامان فروتنی، محسن کاتبی چهرمی* ، علیرضا کاتبی چهرمی	۳۰
۵	کاربردهای یادگیری عمیق در تصویربرداری سرطان پستان: دستاوردهای گذشته و چالش های آینده زهرا مقصودزاده سروستانی* ، سلما شیردل	۳۹
۶	برهمکنش بافت های بیولوژیکی و امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین اسما لک	۵۰



An Optimized Four-Bit Multiplier using Transmission Gate Diffusion Input Technique

Javad Hasanli¹, Nabiollah Shiri^{2*}, Farshad Pesaran³

¹ Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
hassanli.suro@gmail.com

¹ Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
na.shiri@iau.ac.ir

¹ Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
farshad.pesaran@iau.ac.ir

Abstract: Arithmetic units in high-speed cores usually contain digital multipliers, and their optimization has a significant impact on the speed of arithmetic and computer systems. Different design techniques have been presented in the research. In this study, a 4-bit multiplier is optimized using transmission gate (TG) and gate diffusion input (GDI) techniques. The GDI technique reduces the number of transistors, propagation delay, power consumption, and chip area. Also, using the TG technique compensates for the swing error at the output of the multiplier. The optimized multiplier is evaluated by 90 nm technology. The results show that the multiplier has 6.09 μW power consumption, 6.146 ns delay, and $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ area. Also, the value of PDP (Power Delay Product) of the circuit is equal to 37.45×10^{-15} . The optimized multiplier applies to efficient digital signal processors (DSPs) where high performance is required.

Keywords: : Multiplier, transmission gate (TG), gate diffusion input (GDI), optimization

JCDSA, Vol. 2, No. 6, Summer 2024

Received: 2023-12-10

Online ISSN: 2981-1295

Accepted: 2024-05-26

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcdsa>

Published: 2024-09-12

CITATION

Hasanli, J., et. al., "An Optimized Four-Bit Multiplier Using Transmission Gate Diffusion Input Technique", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 2, No. 6, pp. 1-9, 2024.

DOI: 00.00000/0000

COPYRIGHTS



©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

* Corresponding author

Extended Abstract

1- Introduction

Multipliers are basic units of arithmetic circuits designed in binary logic with various techniques. Most of them have partial calculations and then sum the calculations together. Today, very large-scale integration (VLSI) circuits are advancing towards low power and high speed. Multiplication is the most important arithmetic operation in signal-processing applications. The need to reduce power consumption and increase speed are two important issues in designing high-performance digital systems. The decrease in power is due to the decrease in the number of different components of the circuit and the increase in speed is due to the decrease in the number of layers. There are many algorithms for designing multipliers; each has advantages in speed, power consumption, and circuit area. Each multiplier consists of three basic parts: partial product (PP), partial product addition (PPA), and final addition. The input category is multiplicand and multiplier, to produce the final product.

Considering the structures of the multipliers, the algorithms of the implementation are different. An array multiplier is a high-performance hybrid multiplier that uses short internal wiring to connect all of its adjacent internal adders horizontally, vertically, and diagonally. A multiplier with the Wallace algorithm is efficient and can be easily implemented in hardware and due to the reduction in the total number of full adders required in the Wallace method compared to the array method, the hardware savings of the Wallace method are quite evident. To design each multiplier circuit, different techniques are used, such as gate diffusion input (GDI), transmission gate (TG), complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS), as well as various logics such as dominoes. By comparing GDI and CMOS circuits, it is clear that there is a large difference in the power consumption of the two circuits, area, number of transistors, and propagation delay. Therefore, using the GDI technique compared to common methods such as CMOS in implementing gates and logic functions reduces the number of transistors. Reducing the number of transistors reduces the nodes' capacitances, thus reducing the logical effort of the circuit and consequently reducing the dynamic power.

2- Methodology

In the proposed multiplier, the GDI and TG structures are combined and a new structure is introduced as TGDI. The transistor implementation of the TGDI is composed of two-input AND gate, full adder and half adder circuits using the TGDI technique. By the TGDI, a 4-bit multiplier is implemented which has 8 FAs, 4 HAs, 16 AND, and 40 NOT gates, with a total of 288 transistors. The use of the GDI technique minimizes chip area, delay, and power consumption. The only drawback of this technique is the swing error at the output of the circuit. Therefore, by using the TG technique and combining it with the GDI, the problems caused by swinging at the output are solved and the output of the circuit is presented with full-swing.

The working method is that to prevent the swing error in circuits, transfer gates are used. To implement transmission gates, two non-identical transistors are connected in such a way that their source bases are connected to each other. Their internal bases should also be connected together. The gate bases of the transistors are also connected to each other in a complementary way.

In the proposed multiplier, the GDI and TG structures are combined and a new structure is introduced as TGDI. The transistor implementation of the TGDI is composed of two-input AND gate, full adder and half adder circuits using the TGDI technique. By the TGDI, a 4-bit multiplier is implemented which has 8 FAs, 4 HAs, 16 AND, and 40 NOT gates, with a total of 288 transistors. The use of the GDI technique minimizes chip area, delay, and power consumption. The only drawback of this technique is the swing error at the output of the circuit. Therefore, by using the TG technique and combining it with the GDI, the problems caused by swinging at the output are solved and the output of the circuit is presented with full-swing.

The working method is that to prevent the swing error in circuits, transfer gates are used. To implement transmission gates, two non-identical transistors are connected in such a way that their source bases are connected to each other. Their internal bases should also be connected together. The gate bases of the transistors are also connected to each other in a complementary way.

3- Results and discussion

The comparison of all the parameters of the proposed multiplier implemented by TGDI technique with other references is performed. The layout of the proposed TGDI 4-bit multiplier, which is drawn by L-Edit. The total area of the layout is $200 \times 200 \mu\text{m}^2$. The layout is designed to be compact and efficient, that can be used in a variety of applications. It is particularly well-suited for applications where chip area, delay, and power consumption are critical factors. By calculating the propagation delay, the propagation delay in the path of input signal B_1 and output signal S_7 has the highest value, so this value is the propagation delay of the proposed 4-bit multiplier which is equal to 6.146 ns. To calculate the power consumption of the circuit, according to the period of the input signals, the power is considered during the maximum period of the input signal. Therefore, the average power consumption in the time range of 1 ns to 398 ns is $6.09 \mu\text{W}$.

4- Conclusion

In this study, the gate diffusion input (GDI) and transmission gate (TG) techniques are combined to present a new 4-bit multiplier with the transmission gate diffusion input (TGDI) technique. The GDI technique reduces the propagation delay and power consumption and increases the speed of the circuit. The only drawback of the GDI is the swing error in the output signals, which is covered by the TG technique. The 4-bit TGDI multiplier is implemented in 90 nm technology, and the circuit features are extracted. The delay of the TGDI multiplier is 6.146 ns, while its power consumption is $6.09 \mu\text{W}$.





یک ضرب کننده چهاربیتی بهینه سازی شده با استفاده از روش ورودی دروازه شناور انتقالی

جواد حسنی^۱، نبی اله شیری^{۲*}، فرشاد پسران^۳

۱- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (hassanli.suro@gmail.com)

۲- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (na.shiri@iau.ac.ir)

۳- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (farshad.pesaran@iau.ac.ir)

چکیده: ضرب کننده‌ها به صورت گسترده‌ای در مدارهای محاسباتی استفاده می‌شوند و بهینه‌سازی آنها تاثیر قابل توجهی بر سرعت محاسبات و سیستم‌های کامپیوتری دارد. در این مقاله، یک ضرب کننده چهاربیتی با استفاده از روش دروازه‌های انتقال و ورودی گیت شناور بهینه‌سازی می‌شود. روش ورودی گیت شناور باعث کاهش تعداد ترانزیستورها، تاخیر انتشار، توان تلفاتی و مساحت تراشه می‌شود. همچنین استفاده از روش دروازه انتقال باعث جبران خطای سوینگ در خروجی ضرب کننده می‌شود. ضرب کننده بهینه‌سازی شده در تکنولوژی ۹۰ نانومتر بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که ضرب کننده دارای توان تلفاتی ۶/۰۹ میکرووات، ۶/۱۴۶ نانواتیبه تاخیر و 200×200 میکرومترمربع مساحت می‌باشد. همچنین مقدار حاصل ضرب توان در تاخیر مدار برابر با $10^{-15} \times 37/43$ است. ضرب کننده بهینه‌سازی شده برای پردازشگرهای سیگنال دیجیتال با راندمان بالا قابل استفاده می‌باشد.

واژه های کلیدی: ضرب کننده، دروازه انتقال، ورودی گیت شناور، بهینه‌سازی

DOI: 00.00000/0000

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۶/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۳/۶

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

ترانزیستور PMOS تنها نقش یک کردن خروجی را به عهده دارد. این شبکه یک کننده، با دریافت سیگنال ساعت (زمانی که سیگنال ساعت صفر است) خروجی را به سطح بالا (یک منطقی) انتقال می‌دهد. سیگنال ساعت به کمک یک ترانزیستور NMOS که با شبکه پایین برنده خروجی سری شده کنترل زمانی صفر شدن خروجی را نیز انجام می‌دهد. از معایب مدار در منطق دومینو می‌توان به وابستگی به سیگنال ساعت و در نتیجه کندتر شدن مدار اشاره کرد. مدارهای اصلی CMOS نوبت کم دارند، اما مساحت اشغال شده و مصرف انرژی نسبتاً بالایی دارند. برای دستیابی به یک مساحت کوچک و توان کم، روش‌های دیگری مورد نیاز است. روش GDI مبتنی بر استفاده از یک سلول ساده است که در جدول (۱) ارائه شده است. در نگاه اول، این سلول شبیه به یک اینورتر CMOS است، اما تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. یک سلول پایه GDI دارای چهار ورودی است، که شامل ورودی G (گیت مشترک برای ترانزیستورهای PMOS و NMOS)، ورودی P (سورس)، ورودی N (سورس NMOS)، و ورودی D (درین مشترک NMOS و PMOS)

۱- مقدمه

ضرب کننده‌ها واحدهای پایه مدارهای حسابی هستند که در منطق باینری با روش‌های مختلف طراحی می‌شوند [۱] و اکثر آنها شامل محاسبات جزئی هستند و سپس محاسبات را با هم جمع می‌کنند [۲]. برای طراحی هر مدار ضرب کننده، روش‌های مداری مختلفی مانند ورودی انتشار گیت^۲ (GDI)، گیت انتقال^۳ (TG)، مکمل اکسید فلزی- نیمه رسانا^۴ (CMOS)، و همچنین منطق‌های مختلفی مانند دومینو^۵ استفاده می‌شود [۳]. در منطق دومینو، سیگنال ساعت زمانبندی عملکرد مدار را کنترل می‌کند. در کاربردهای که نیاز به زمانبندی دقیق و همچنین مساحت کم می‌باشد، منطق دومینو کارگشا می‌باشد. در منطق دومینو شبکه صفر کننده خروجی که متشکل از ترانزیستورهای NMOS می‌باشد همان شبکه صفر کننده در CMOS است ولی شبکه یک کننده خروجی به نسبت CMOS کاملاً متفاوت است و یک

* نویسنده مسئول

² Gate Diffusion Input

³ Transmission Gate

⁴ Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

⁵ Domino



است [۴]. در سلول پایه GDI، P، N و D ممکن است به عنوان ورودی و خروجی بسته به ساختار مدار استفاده شوند. جدول (۱) نشان می‌دهد که چگونه با یک تغییر ساده در ترکیب ورودی یک سلول GDI، خروجی‌های مربوطه را می‌توان با توابع مختلف بولی به دست آورد [۵]. همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده توابع پیچیده مانند مالتی پلکسر (MUX) را می‌توان با استفاده از این دو ترانزیستور ساده پیاده‌سازی کرد. در پیاده‌سازی GDI، استفاده از عناصر کمتر یکی از ویژگی‌های مهم است [۵]. اجرای بیشتر این توابع در روش‌های مختلف مستلزم استفاده از ۶ تا ۱۲ ترانزیستور است؛ اما استفاده از روش GDI امکان طراحی با ترانزیستورهای کمتر را می‌دهد که در کاهش توان، افزایش سرعت و کاهش پیچیدگی مهم است [۴، ۷].

با مقایسه مدارهای GDI و CMOS، مشخص می‌شود که تفاوت زیادی در توان مصرفی، مساحت، تعداد ترانزیستورها و تأخیر انتشار دو مدار وجود دارد. برای نشان دادن عملی بودن روش GDI، یک جمع‌کننده ۸ بیتی (CLA)^۱ با استفاده از این روش توسعه داده شد که کاهش ۴۵ درصدی حاصل‌ضرب توان در تأخیر^۲ (PDP) را در مقایسه با روش CMOS نشان داد [۹]. دلیل این کاهش در دو ورودی گیت‌های AND در مدار جمع‌کننده یافت می‌شود. در روش GDI از دو ترانزیستور برای ساخت گیت AND استفاده می‌شود؛ در حالی که در روش CMOS گیت AND از یک گیت NAND با چهار ترانزیستور ساخته می‌شود که پس از آن یک اینورتر با دو ترانزیستور وجود دارد [۱۰]. بنابراین در مجموع از شش ترانزیستور برای ساخت گیت AND در CMOS استفاده می‌شود. برای محاسبه تأخیر، مقدار تلاش منطقی^۳ مدار تخمین زده می‌شود. تلاش منطقی برابر با ظرفیت خازن ورودی تقسیم بر مقدار خازن اینورتر واحد است [۱۱]. بنابراین، برای یک گیت NAND با دو ورودی در CMOS، تلاش منطقی برابر با ۴ است؛ در حالی که در GDI این مقدار برابر با ۱ است. بنابراین، روش GDI تلاش منطقی کمتری دارد. همچنین استفاده از روش GDI در مقایسه با روش‌های رایج مانند CMOS در پیاده‌سازی گیت‌ها و توابع منطقی، تعداد ترانزیستورها را کاهش می‌دهد [۱۲]. کاهش تعداد ترانزیستورها باعث کاهش ظرفیت گره‌ها و در نتیجه کاهش تلاش منطقی مدار شده و در نهایت کاهش توان دینامیکی را به دنبال خواهد داشت [۷].

ترانزیستور NMOS به ترانزیستور PMOS به صورت موازی متصل می‌شود، به طوری که پایه‌های سورس هر دو ترانزیستور به هم و پایه‌های درین آنها به هم وصل شوند و پایه گیت یک ترانزیستور توسط یک NOT به پایه گیت ترانزیستور دیگر متصل شود؛ نتایج ساختار یک دروازه TG خواهد بود [۱۴]. امروزه مدارهای یکپارچه بسیار بزرگ^۴ (VLSI) به سمت توان کم و سرعت بالا پیش می‌روند. ضرب مهم‌ترین

عملیات حسابی در کاربردهای پردازش سیگنال است [۱۵]. نیاز به کاهش توان مصرفی و افزایش سرعت دو موضوع مهم در طراحی سیستم‌های دیجیتال با کارایی بالا است. کاهش توان مصرفی به دلیل کاهش تعداد اجزای مختلف مدار و افزایش سرعت به دلیل کاهش تعداد لایه‌ها است [۱۶]. الگوریتم‌های بسیاری برای طراحی ضرب‌کننده‌ها وجود دارد. هر الگوریتم مزایایی در سرعت، توان مصرفی و مساحت اشغالی مدار دارد. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده، هر ضرب از سه بخش اصلی تشکیل شده است: ضرب جزئی^۵ (PP)، جمع ضربهای جزئی^۶ (PPA) و جمع نهایی. دو دسته ورودی ضرب‌کننده شامل مضروب و مضروب منه هستند که ضرب نهایی را تولید می‌نمایند [۱۷]. الگوریتم Vedic یک روش بسیار قدیمی است که ریاضیات مدرن مانند حساب، هندسه، مثلثات و معادلات درجه دوم را پوشش می‌دهد [۷]. استفاده از الگوریتم Vedic در ضرب‌کننده‌ها، تعداد مراحل ضرب را کاهش می‌دهد. بنابراین استفاده از این روش باعث کاهش توان مصرفی، افزایش سرعت مدار و کاهش مساحت اشغال شده مدار می‌شود [۱۹]. الگوریتم مورد استفاده برای ضرب‌کننده Vedic ۴ بیتی در شکل (۲) نشان داده شده است. قابل ذکر است که در مکانیزم ضرب، در حالت استاندارد عمل ضرب به صورت مرحله به مرحله انجام می‌شود. این حالت در شکل (۱) به صورت خطوط قرمز رنگ افقی نشان داده شده است. در واقع هر مرحله از عملیات ضرب در بین خطوط قرمز افقی یک مجموعه خروجی ایجاد می‌کند که به عنوان ورودی مرحله بعد می‌باشد. ترتیب این عملیات در شکل (۱) از بالا به پایین می‌باشد. این مکانیزم هر چند به صورت سری و دقیق انجام می‌شود، ولی خود این سری موجب کاهش سرعت مدار می‌شود. جهت رفع این کندی در بخش جمع‌کننده‌های جزئی ساختارهای متنوعی بررسی شده است.

یک ضرب‌کننده آرایه‌ای (شکل (۳))، یک ضرب‌کننده هیبریدی با کارایی بالا است که از سیم‌بندی داخلی کوتاه برای اتصال همه جمع‌کننده‌های داخلی مجاور خود به صورت افقی، عمودی و مورب استفاده می‌کند. یک ضرب‌کننده آرایه‌ای $n \times n$ ، به $(n-2)$ جمع‌کننده کامل^۸ (FAs)، n نیم جمع‌کننده^۹ (HAs) و تعداد n^2 گیت AND نیاز دارد. ضرب‌کننده آرایه‌ای، توان زیادی مصرف می‌کند و در بدترین حالت دارای تأخیر انتشار برابر با $(2n+1) \cdot \tau_d$ [۲۱] است؛ اما تأخیر و در نتیجه سرعت آن بهینه است. همچنین به دلیل اینکه تعداد المان‌های مورد نیاز بیشتر از سایر ضرب‌کننده‌ها است، مساحت اشغال شده مدار افزایش می‌یابد. از عوامل تأثیرگذار بر سرعت و توان جمع‌کننده‌های آرایه‌ای، گیت‌های AND می‌باشند. از اینرو برخی پژوهش‌ها به طراحی گیت‌های AND بهینه جهت استفاده در ضرب‌کننده پرداخته‌اند. گیت‌های AND مبتنی بر GDI و TG از جمله این موارد می‌باشند.

⁶ Partial Product Addition

⁷ Array Multiplier

⁸ Full Adder

⁹ Half Adder

¹ Carry Look-Ahead Adder

² Power-Delay-Product

³ Logical Effort

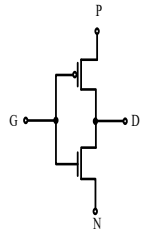
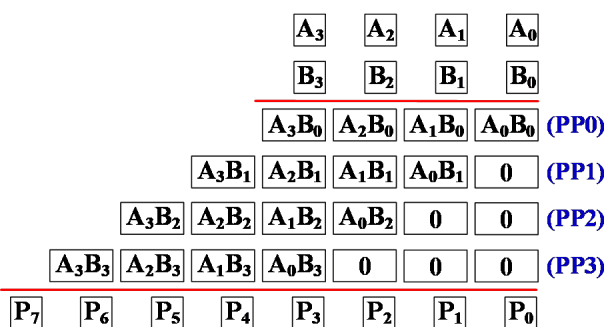
⁴ Very Large-Scale Integration

⁵ Partial Product



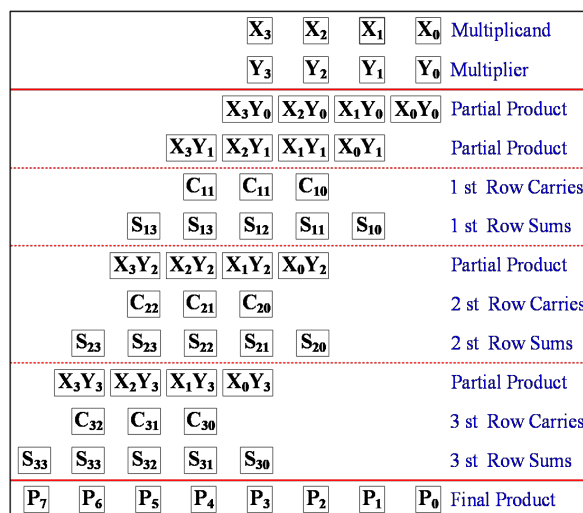
جدول (۱): ساخت توابع منطقی مختلف با یک سلول GDI [۱۳]

N	P	G	D	Logical Functions
'0'	B	A	$\bar{A}B$	F1
B	'1'	A	$\bar{A} + B$	F2
'1'	B	A	$A + B$	OR
B	'0'	A	AB	AND
C	B	A	$\bar{A}B + AC$	MUX
'0'	'1'	A	\bar{A}	NOT

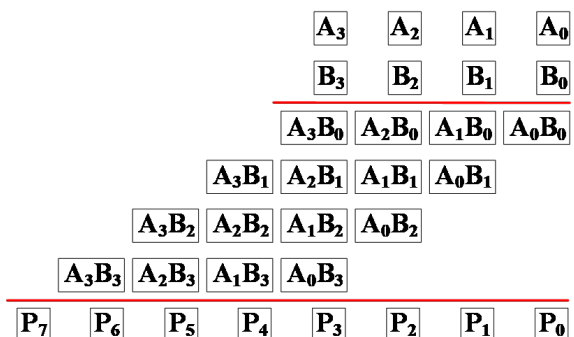



شکل (۴): الگوریتم ضرب دو عدد چهار بیتی با روش والاس [۵].

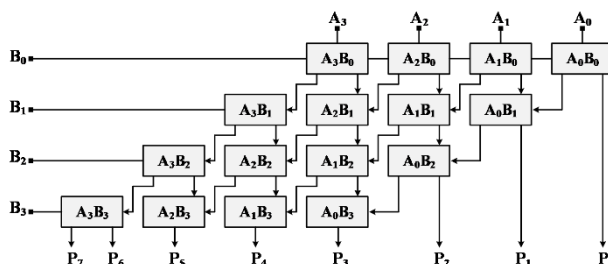
یک ضرب کننده با الگوریتم والاس^۱ نیز یک ضرب کننده کارآمد است و می‌تواند به راحتی پیاده‌سازی سخت افزاری شود، همانطور که در شکل (۴) برای ضرب چهار بیتی نشان داده شده است. این ضرب کننده چهار بیتی به تعداد چهار نیم جمع کننده (HAS) و تعداد هشت جمع کننده کامل (FAS) نیاز دارد. در حالی که یک ضرب کننده آرایه‌ای به تعداد بیست جمع کننده کامل نیاز دارد. از این رو، با توجه به کاهش تعداد کل جمع کننده‌های کامل مورد نیاز در روش والاس نسبت به روش آرایه‌ای، صرفه‌جویی سخت افزاری روش والاس کاملاً مشهود است. در ساختار والاس که بسیار به ساختار استاندارد نزدیک است نیز جهت بهینه‌سازی، در بخش جمع کننده‌های جزئی ساختارهای متنوعی پیشنهاد شده است. برخی از روش‌ها با استفاده از شمارنده‌ها به جای جمع کننده‌ها باعث کاهش توان و افزایش سرعت شده‌اند. در [۷] یک ضرب کننده Vedic 4×4 با استفاده از روش GDI ارائه شده است که کاهش قابل توجهی در تأخیر انتشار و تعداد ترانزیستورها نسبت به روش‌های مرسوم دارد. کاهش تعداد ترانزیستورها باعث کاهش ظرفیت گره‌های داخلی و در نتیجه کاهش تلاش منطقی و نهایتاً توان دینامیکی می‌شود. بنابراین، ضرب کننده Vedic مبتنی بر GDI یک ضرب کننده مؤثر است. این ضرب کننده به دو صورت طراحی و پیاده‌سازی شده است؛ یکی توسط جمع کننده کامل (FAS) و گیت‌های منطقی و دیگری با استفاده از ضرب کننده Vedic مبتنی بر دو بیت. در روش اول و دوم به ترتیب از ۱۷۸ و ۲۴۲ ترانزیستور استفاده می‌شود. میانگین توان مصرفی در روش اول $13/0574$ میکرووات و در روش دوم $88/21$ میکرووات می‌باشد. میزان تاخیر در هر دو روش یکسان و برابر با $0/93$ نانو ثانیه است. بنابراین روش اول در توان مصرفی و تعداد ترانزیستور بهتر است. در این تحقیق، یک ضرب کننده چهار بیتی با تلفیق دو روش ورودی انتشار گیت (GDI) و گیت انتقال (TG)، (TGDI) جهت کاهش توان مصرفی ارائه شده است. ضرب کننده پیشنهادی میزان تأخیر انتشار و مصرف توان کمتری نسبت به ضرب کننده‌های قبلی دارد. این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. ضرب کننده TGDI پیشنهادی در بخش ۲ ارائه شده است. بخش ۳ نتایج و مقایسه را ارائه می‌کند. در نهایت مقاله در بخش ۴ نتیجه‌گیری می‌شود.



شکل (۱): مکانیزم ضرب کننده چهار بیتی [۱۸].



شکل (۲): الگوریتم ضرب کننده Vedic چهار بیتی [۲۰].

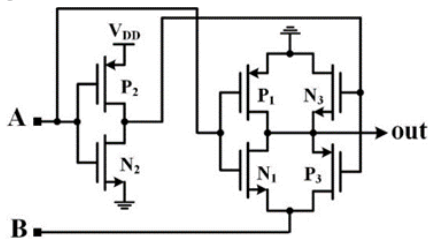


شکل (۳): بلوک دیگرام یک ضرب کننده آرایه‌ای چهار بیتی [۲۱].

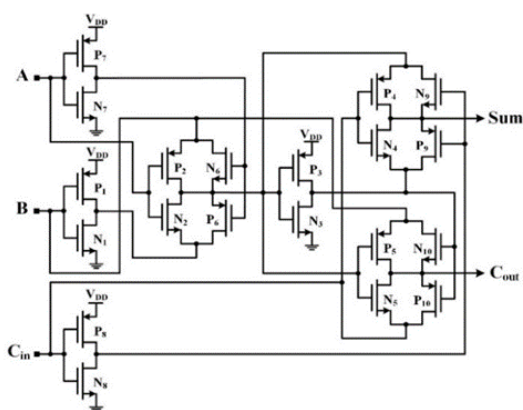
¹ Wallace

۲- معرفی ضرب کننده Vedic چهار بیتی با استفاده از روش TGDI

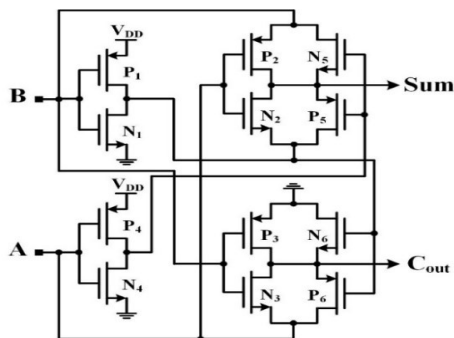
است که برای جلوگیری از خطای سوئینگ در مدارها از گیت‌های انتقال (TG) استفاده می‌شود. برای پیاده‌سازی گیت‌های انتقال، دو ترانزیستور غیر یکسان به گونه‌ای به هم متصل می‌شوند که پایه‌های سورس آنها به یکدیگر متصل شوند. پایه‌های درین نیز باید به هم متصل شوند. پایه‌های گیت ترانزیستورها نیز به صورت مکمل به یکدیگر متصل می‌شوند.



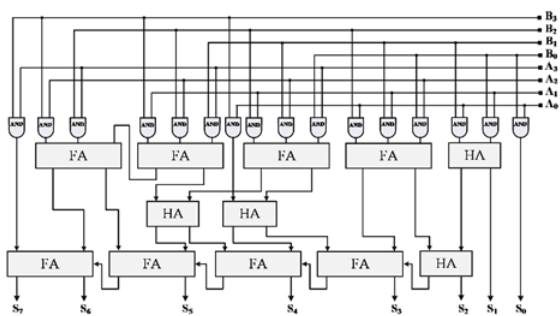
شکل (۵): پیاده‌سازی ترانزیستوری مدار گیت AND دو ورودی با استفاده از روش TGDI.



شکل (۶): پیاده‌سازی ترانزیستوری مدار جمع‌کننده کامل دو ورودی با استفاده از روش TGDI.



شکل (۷): پیاده‌سازی ترانزیستوری مدار نیم‌جمع‌کننده با استفاده از روش TGDI.



شکل (۸): ساختار ضرب‌کننده چهار بیتی TGDI پیشنهادی.

در این قسمت ساختارهای GDI و TG با هم ترکیب شده و ساختار جدیدی به نام TGDI معرفی می‌شود. شکل‌های (۵-۷) اجرای ترانزیستوری مدارهای گیت AND دو ورودی، جمع‌کننده کامل (FAs) و نیم‌جمع‌کننده (HAs) را با استفاده از روش TGDI نشان می‌دهد. در شکل (۵) که یک گیت AND را نشان می‌دهد از یک اینورتر که رفتاری در منطق CMOS دارد برای تولید سیگنال مکمل A استفاده شده است؛ این سیگنال مکمل به عنوان ورودی ساختار GDI و TG استفاده می‌شود. در واقع در شکل (۵)، ترانزیستورهای P1 و N3 و همچنین ترانزیستورهای N1 و P3 دو دروازه انتقال سری را تشکیل می‌دهند که ورودی این دروازه انتقال به صورت GDI با سیگنال B تغذیه می‌شود. در این ساختار ترانزیستورهای P سوئینگ سمت صفر و ترانزیستورهای N سوئینگ سمت یک را جبران می‌کنند. در شکل (۶) هر سه سیگنال ورودی جمع‌کننده با اینورترهای CMOS مکمل شده و سپس جهت درایو بخش میانی و انتهایی مدار که سلول‌های GDI می‌باشند به کار می‌روند. ترانزیستورهای P3 و N3 در بخش میانی یک اینورتر CMOS را تشکیل می‌دهند که جهت افزایش قدرت درایو و همچنین سوئینگ سیگنال میانی استفاده می‌شود. در بخش تولید خروجی نهایی در شکل (۶) دو سلول TGDI استفاده شده که ضمن تولید خروجی با سوئینگ کامل، توان و مساحت نیز به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در شکل (۷) که نیم‌جمع‌کننده TGDI را نمایش می‌دهد نیز همانند تمام جمع‌کننده ابتدا دو ورودی A و B مکمل شده و سپس جهت تغذیه بخش خروجی استفاده می‌شوند. در این حالت نیز دو اینورتر ورودی در ساختار CMOS می‌باشند و در بخش تولید خروجی دو سلول TGDI استفاده شده است. توان این ساختار پایین بوده و مساحت آن نیز به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در مورد تاخیر نیز رفتار قابل قبولی دارد. با استفاده از ساختارهای پیشنهادی در شکل‌های (۵-۷) در شکل (۸) یک ضرب‌کننده چهار بیتی با استفاده از روش TGDI پیاده‌سازی شده است. ضرب‌کننده TGDI ارائه شده متشکل از تعداد ۸ جمع‌کننده کامل، ۴ نیم‌جمع‌کننده، ۱۶ گیت AND و ۴۰ گیت NOT بوده و در مجموع ۲۸۸ ترانزیستور در آن به کار رفته است. در شکل (۸) گیت‌های AND همان ساختار شکل (۵)، مدارهای تمام جمع‌کننده مدار شکل (۶) و مدار نیم‌جمع‌کننده مدار شکل (۷) می‌باشند. با توجه به مزایای مطرح شده برای هر سه مدار، این مزایا در ساختار نهایی ضرب‌کننده پیشنهادی نیز قابل بیان هستند. در شکل (۸) به نحوی استاندارد زیر مدارهای قبلی استفاده شده تا ضمن داشتن مزایای قبلی، صحت عملکرد ضرب‌کننده نیز برقرار باشد. استفاده از روش GDI سطح تراشه، تاخیر و توان مصرفی را به حداقل می‌رساند. تنها اشکال این روش ایجاد خطای سوئینگ در خروجی مدار است. بنابراین با استفاده از روش TG و ترکیب آن با روش GDI، خطای ناشی از سوئینگ در خروجی از بین می‌رود. روش کار به این صورت

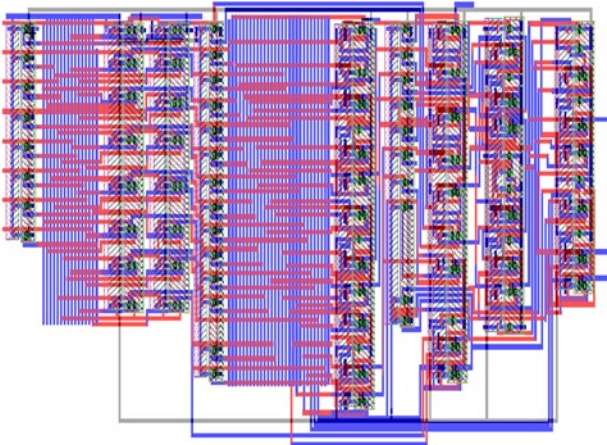


۳- نتایج و بحث

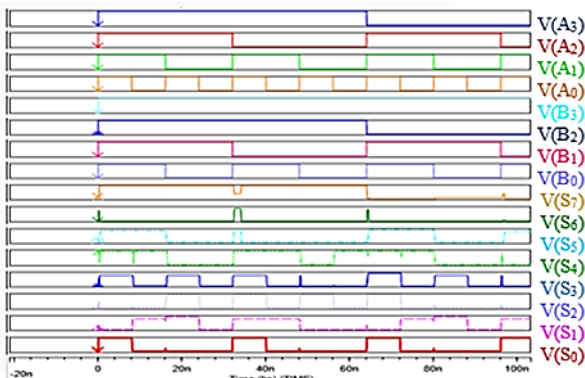
بنابراین این مقدار، تأخیر انتشار ضرب کننده چهار بیتی پیشنهادی است که برابر با $6/146$ نانو ثانیه است. برای محاسبه توان مصرفی مدار، با توجه به پرید سیگنال های ورودی، توان در طول حداکثر پرید سیگنال ورودی در نظر گرفته می شود. بنابراین، در بازه زمانی ۱ نانو ثانیه تا ۳۹۸ نانو ثانیه، میانگین توان مصرفی $6/09$ میکرووات است. همچنین مقدار جمع ضرب های جزئی مدار برابر با $37/43 \times 10^{-15}$ است. همچنین پارامتر FOM که در اینجا حاصل ضرب PDP در مقدار مساحت اشغالی مدار تعریف می شود برابر با $1/497 \times 10^{-9}$ است.

جدول (۲): مقایسه FA ارائه شده با FA های قبلی

Method	Power Consumption	Delay	PDP
Proposed FA (implemented by TGDI technique)	200 uW	0.04 ns	8×10^{-15}
LPHS-FA [22]	2.32 mW	1.9 ns	4.4×10^{-12}
GDI TFF technique [23]	601 uW	0.5 ns	3×10^{-13}
TG & PTL technique [24]	335 uW	0.69 ns	2.31×10^{-13}



شکل (۹): طرح ضرب کننده چهار بیتی TGDI پیشنهادی.



شکل (۱۰): شکل موج خروجی ضرب کننده چهار بیتی پیشنهادی.

در این مقاله برای طراحی یک ضرب کننده چهار بیتی، استفاده از جمع کننده کامل (FA) و نیم جمع کننده با استفاده از روش GDI پیشنهاد شده است، همانطور که بیان شد خروجی مدار دارای خطای سوئیچینگ است. بنابراین، برای حذف این خطا، ترکیبی از روش GDI و روش TG برای FA پیشنهاد شده است. جدول (۲) مقایسه پارامترهای FA پیشنهادی پیاده سازی شده توسط روش TGDI را با سایر مراجع نشان می دهد. در [۲۲] از روش LPHS-FA1 به عنوان راهی برای ساده سازی معماری و در نتیجه بهبود عملکرد سیستم استفاده شده و در تکنولوژی ۱۸۰ نانومتر پیاده سازی شده است. در [۲۳] در تکنولوژی ۱۸۰ نانومتر، از روش GDI TFF استفاده شده که در آن از فلیپ فلاپ نوع T جهت بالا بردن کارایی مدار کمک گرفته شده است. در [۲۴] از تلفیق دو روش PTL و TG برای افزایش سرعت و کارایی مدار و کاهش توان مصرفی استفاده شده و در تکنولوژی ۲۵۰ نانومتر پیاده سازی شده است. شکل (۹)، طرح ضرب کننده چهار بیتی با استفاده از روش ورودی دروازه شناور انتقالی (TGDI) پیشنهادی را نشان می دهد که توسط نرم افزار L-Edit ترسیم شده است. مساحت کل طرح 200×200 میکرومتر مربع است. این طرح به گونه ای فشرده و کارآمد طراحی شده است که دارای ویژگی های زیر است:

- ترانزیستورها در یک شبکه منظم چیده شده اند که روند مسیریابی و چیدمان را ساده می کند.
- کلاک و خطوط تغذیه در امتداد لبه های طرح قرار می گیرند تا نویز و تداخل را به حداقل برسانند.
- پایه های ورودی و خروجی با هم گروه بندی شده اند تا اتصال ضرب کننده به مدارهای دیگر آسان شود.
- طول طولانی ترین مسیر از ورودی تا خروجی ۱۰۰ میکرومتر است. ضرب کننده چهار بیتی TGDI یک مدار فشرده و کارآمد است که در کاربردهای مختلف قابل استفاده است. این به ویژه برای کاربردهایی که مساحت تراشه، میزان تأخیر و توان مصرفی از عوامل حیاتی هستند، مناسب است. شکل (۱۰)، شکل موج سیگنال های خروجی ضرب کننده چهار بیتی مبتنی بر روش TGDI را نشان می دهد. A0 تا A3 و B0 تا B3 دو مجموعه از ورودی های چهار بیتی به ضرب کننده هستند و سیگنال های S0 تا S7 خروجی های هشت بیتی این ضرب کننده چهار بیتی پیشنهادی می باشند. برای محاسبه تأخیر انتشار، در هر خروجی باید تأخیر انتشار به طور جداگانه برای هر یک از ورودی ها محاسبه شود. با توجه به وجود دو ورودی چهار بیتی (در مجموع هشت بیت ورودی) و هشت بیت خروجی در مدار، تأخیر انتشار برای ۶۴ حالت ممکن باید به دست آید. ماکزیمم مقدار این ۶۴ حالت به دست آمده، برابر با تأخیر انتشار مدار است. با محاسبه حالت های مختلف، تأخیر انتشار در مسیر سیگنال ورودی B1 و سیگنال خروجی S7 بیشترین مقدار را دارد،

¹ Low Power High Speed Full Adder

- July 2019 2019, pp. 128-135, <https://doi.org/10.1109/ICCES45898.2019.9002573>.
- [10] G. Nayan, R. K. Prasad, P. K. YG, and D. M. Kurian, "A Review on Modified Gate Diffusion Input Logic: An Approach for Area and Power Efficient Digital System Design," in Proceedings of the Second International Conference on Emerging Trends in Science & Technologies For Engineering Systems (ICETSE-2019), 2019, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3507293>.
- [11] D. E. Nikonov and I. A. Young, "Overview of beyond-CMOS devices and a uniform methodology for their benchmarking," Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 12, pp. 2498-2533, 2013, <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2013.2252317>.
- [12] A. Morgenshtein, V. Yuzhaninov, A. Kovshilovsky, and A. Fish, "Full-Swing Gate Diffusion Input logic—Case-study of low-power CLA adder design," Integration, vol. 47, no. 1, pp. 62-70, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.vlsi.2013.04.002>.
- [13] A. Morgenshtein, A. Fish, and I. A. Wagner, "Gate-diffusion input (GDI): a power-efficient method for digital combinatorial circuits," IEEE transactions on very large scale integration (VLSI) systems, vol. 10, no. 5, pp. 566-581, 2002, <http://dx.doi.org/10.1109/TVLSI.2002.801578>.
- [14] M. Dai, Z. Song, C.-H. Lin, Y. Dong, T. Wu, and J. Chu, "Multi-functional multi-gate one-transistor process-in-memory electronics with foundry processing and footprint reduction," Communications Materials, vol. 3, no. 1, p. 41, 2022, <http://dx.doi.org/10.1038/s43246-022-00261-3>.
- [15] S. Dayanand, K. Varshitha, T. Rohini, Y. J. M. Shirur, and J. R. Munavalli, "Low Power High Speed Vedic Techniques in Recent VLSI Design—A Survey," Perspectives in Communication, Embedded-systems and Signal-processing-PiCES, vol. 4, no. 6, pp. 147-156, 2020, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4247825>.
- [16] X. Li, W. Cheng, T. Zhang, J. Xie, F. Ren, and B. Yang, "Power efficient high performance packet I/O," in Proceedings of the 47th International Conference on Parallel Processing, 2018, pp. 1-10, <http://dx.doi.org/10.1145/3225058.3225129>.
- [17] S. Vaidya and D. Dandekar, "Delay-power performance comparison of multipliers in VLSI circuit design," International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), vol. 2, no. 4, pp. 47-56, 2010, <http://dx.doi.org/10.5121/ijcnc.2010.2405>.
- [18] S. Nair and A. Saraf, "A review paper on comparison of multipliers based on performance parameters," International Journal of Computer Applications, vol. 5, no. 4, pp. 6-9, 2014, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:9515631>.
- [19] S. J. Lee and S. H. Ruslan, "A 2x2 Bit Multiplier Using Hybrid 13T Full Adder with Vedic Mathematics Method," International Journal of Integrated Engineering, vol. 10, no. 3, 2018, <http://dx.doi.org/10.30880/ijie.2018.10.03.004>.
- [20] M. Bansal and J. Singh, "Comparative analysis of 4-bit CMOS vedic multiplier and GDI vedic multiplier using 18nm FinFET technology," in 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), 2020: IEEE, pp. 1328-1332, <http://dx.doi.org/10.1109/ICOSEC49089.2020.9215317>.
- [21] K. Gurumurthy and M. Prahalad, "Fast and power efficient 16x16 Array of Array multiplier using Vedic Multiplication," in 2010 5th International Microsystems Packaging Assembly and Circuits Technology Conference, 2010: IEEE, pp. 1-4, <http://dx.doi.org/10.1109/IMPACT.2010.5699463>.
- [22] C. K. Tung, S. H. Shieh, and C. H. Cheng, "Low-power high-speed full adder for portable electronic applications,"

در این مقاله، یک ضرب‌کننده جدید چهار بیتی با ترکیب روش‌های ورودی انتشار گیت (GDI) و گیت انتقال (TG) با عنوان ورودی دروازه شناور انتقالی (TGDI) پیشنهاد می‌شود. روش GDI تعداد ترانزیستورها و به دنبال آن مساحت تراشه، تأخیر انتشار و توان مصرفی را کاهش و سرعت مدار را افزایش می‌دهد. تنها اشکال روش GDI، وجود خطای سوئینگ در سیگنال‌های خروجی است که با استفاده از روش TG خطای سوئینگ در خروجی ضرب‌کننده جبران می‌شود. ضرب‌کننده چهار بیتی با روش TGDI در فناوری ۹۰ نانومتر پیاده‌سازی و ویژگی‌های مدار استخراج شده‌است. تأخیر انتشار ضرب‌کننده TGDI برابر با ۶/۱۴۶ نانوثانیه است؛ در حالیکه توان مصرفی آن ۶/۰۹ میکرووات است. همچنین مقدار جمع ضرب‌های جزئی این مدار ضرب‌کننده برابر با $10 \times 37/43$ است. این ضرب‌کننده بهینه‌سازی شده برای پردازشگرهای سیگنال دیجیتال، با راندمان بالا قبل استفاده می‌باشد.

مراجع

- [1] M. Rafiee, F. Pesaran, A. Sadeghi, and N. Shiri, "An efficient multiplier by pass transistor logic partial product and a modified hybrid full adder for image processing applications," Microelectronics Journal, vol. 118, p. 105287, Dec. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2021.105287>.
- [2] A. Sadeghi, N. Shiri, M. Rafiee, and M. Tahghigh, "An efficient counter-based Wallace-tree multiplier with a hybrid full adder core for image blending," Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, vol. 23, no. 6, pp. 950-965, 2022/06/01 2022, <http://dx.doi.org/10.1631/FITEE.2100432>.
- [3] M. Fadaei, "Designing ALU using GDI method," International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems, vol. 8, no. 3, p. 151, 2019, <http://doi.org/10.11591/ijres.v8.i3.pp151-161>.
- [4] A. Morgenshtein, A. Fish, and I. A. Wagner, "Gate-diffusion input (GDI) - a technique for low power design of digital circuits: analysis and characterization," in 2002 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Proceedings (Cat. No.02CH37353), 26-29 May 2002 2002, vol. 1, pp. I-I, <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2002.1009881>.
- [5] A. P. Chandrakasan, W. J. Bowhill, and F. Fox, "Design of high-performance microprocessor circuits," Wiley-IEEE press, 2000, <https://www.wiley.com/en-us/Design+of+High-Performance+Microprocessor+Circuits-p-9780780360013>.
- [6] K. Bernstein et al., "High speed CMOS design styles," Springer Science & Business Media, 1998, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-5573-5>.
- [7] A. Garg and G. Joshi, "Gate diffusion input based 4-bit Vedic multiplier design," IET Circuits, Devices & Systems, vol. 12, no. 6, pp. 764-770, 2018, <https://doi.org/10.1049/iet-cds.2017.0454>.
- [8] S. Sharma and V. Sharda, "Design and analysis of 8-bit Vedic multiplier in 90nm technology using GDI technique," Int. J. Eng. Technol, vol. 7, no. 3.12, p. 759, 2018, <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.12.16496>.
- [9] G. Nayan, "A Comparative Analysis of 8-bit Novel Adder Architecture Design using Traditional CMOS and m-GDI technique," in 2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), 17-19



- [24] N. Tiwari, R. Sharma, and R. Parihar, "Implementation of area and energy efficient Full adder cell," in International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014), 2014: IEEE, pp. 1-5, <http://dx.doi.org/10.1109/ICRAIE.2014.6909248>.
- [23] S. Ziabakhsh and M. Zoghi, "Design of a low-power high-speed t-flip-flop using the gate-diffusion input technique," in Proc. 17th Telecommunications forum TELFOR, 2009, pp. 1470-1473, <http://dx.doi.org/10.1109/IranianCEE.2014.6999508>.





Islamic Azad University , Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iau.ir/journal/jcda



Automatic recognition of digital speech using deep spiking neural network based on fuzzy weighting

Melika Hamian¹, Karim Faez^{*2}, Sohila Nazari³, Maliheh Sabeti⁴

¹ Department of Computer Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

hamian.melika@gmail.com

² Department of Computer Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

karim.faez@gmail.com

³ Department of Computer Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

msoheilanazari21@yahoo.com

⁴ Department of Computer Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

malihe.sabeti@gmail.com

Abstract: Despite the progress made in the design of spiking neural networks (SNN), training these systems for classification and artificial intelligence applications is one of the upcoming challenges for their design. In this paper, we have investigated supervised learning in SNNs for the problem of digit recognition and classification from speech signals. SNN training is done using fuzzy logic. In this method, the learning rule integrates Fuzzy Weighting System (FWS) with Spike Time Dependent Flexibility (STDP). SNN uses a set of training neurons with fuzzy weighting to reduce the number of weights of each neuron in the training phase, in which the data related to all classes are fed to these neurons to determine the training weights and threshold estimation with the help of the Wild Horse Algorithm (WHO). Then, these rule weights are given to the neurons of different layers to reflect the similarities in the extracted features among the classes as an objective function. A case study has been carried out on a set of audio signal data for digit classification. Our network achieved a classification accuracy of 98.17% on the TIDIGITS test database.

Keywords: digit speech recognition, spiking neural network (SNN), fuzzy weighting system (FWS)

JCDSA, Vol. 2, No. 6, Summer 2024

Received: 2023-12-08

Online ISSN: 2981-1295

Accepted: 2024-05-29

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcda>

Published: 2024-09-14

CITATION

Hamian, M., et. al. "Automatic recognition of digital speech using deep spiking neural network based on fuzzy weighting", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 2, No. 6, pp. 10-18, 2024.

DOI: 00.00000/0000

COPYRIGHTS



©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

* Corresponding author

Extended Abstract

1- Introduction

In this work, we have used a series of meta-heuristic algorithms for deep neural network training based on Fuzzy Weighted System (FWS) learning rule integrated with Spike Time Dependent Flexibility (STDP). Our case study is for classification and recognition of digits from audio signals. The important innovation of this training is the use of a random weighting system based on fuzzy logic (FWS), which is sufficient for each neuron. Instead of defining a large volume of input weights for each neuron, only two variables are calculated with the help of the WHO algorithm. A training audio dataset is then trained for the entire network applying audio samples to these compressed spike maps with trained weights, which are then transformed into the original classification results using a spiking autoencoder. To the best of our knowledge, this is the first work that performs audio synthesis from extracted features in a spike-based environment with the help of optimization algorithms and a fuzzy logic system.

2- Methodology

To train FWS-DSNN-based deep voice models, which is the main contribution of this work, several popular speech features are extracted from the training recordings provided for digit classification. After this, with the help of the selected features, we perform the steps of FWS-DSNN training. For each feature in the input layer of the network with the Izhikevich model, a spike train of different features is generated. Now it's time to define the weight and threshold based on the training data. These data enable the training of the FWS-DSNN deep audio model with a back-to-back learning approach. During training, FWS-DSNN learns to optimize selected input speech features by fuzzy weighting and threshold selection optimized with the WHO Wild Horse optimization algorithm with input spike trains from multiple intermediate and output layers of spiking neurons.

We have used a mathematical function $A \cdot \cos(t.s)$ for random weighting. This work means that for a multi-layer network with multiple neurons in each layer, we no longer need to calculate and estimate many weights to define each neuron and calculate only two parameters $Z1$, $Z2$. This helps to reduce the parameters that can be calculated to define the neurons in each layer. This parameter reduction helps to simplify the learning and training of FWS-DSNN. In this regard, we have used the wild horse optimization algorithm to optimize the calculation of $Z1$, $Z2$ parameters along with the threshold value (V_{th}). Through a fuzzy weighted layering of different neurons in different layers, we get a random distribution of weights and threshold value, which leads to the training of the FWS-DSNN network. During the inference stage, the audio digit provided by the trained FWS-DSNN model is combined

with the information stored in the language model and pronunciation vocabulary.

3- Results and discussion

In this article, the wild horse algorithm is used to train the proposed network. Therefore, the proposed FWS-SNN method with the WHO algorithm approach has been compared with two machine learning methods, which include feedforward ANN method and adaptive neural fuzzy network ANFIS for the classification of audio signals for digits 0-9. These methods are reviewed for the test data set of 30 members based on the training data of 120 members trained under different techniques. For this case study, the defined network of a three-layer network with the number of neurons [15 8] has been used for all machine learning networks. The proposed technique with the help of meta-heuristic algorithms has been able to produce good results of high accuracy and alignment of results. The WHO-FWS-SNN technique has been able to create the highest accuracy compared to other machine learning methods and achieve 98% accuracy for audio data.

4- Conclusion

In this paper, a new sequential learning neural classifier for spiking neural network, called FWS-SNN, is presented for digit classification problems from audio signals. The learning algorithm uses low computational cost weight update rules that require only two parameters for each neuron. This method reduces the complexity of training the studied neural network. We also describe a number of strategies for optimizing SNNs for implementation on memory- and energy-constrained hardware, including approximations in computing neural dynamics and reduced precision in storing synaptic weights. The fuzzy weighting technique has been able to reduce the complexity of the proposed SNN network by reducing 71.9% of the network parameters for neuron weighting. As future work, we will investigate the training of recurrent networks of spiking neurons for speech recognition applications for digit classification to improve recognition performance. For this purpose, a second type of fuzzy modeling can be used to define neurons to increase accuracy.





تشخیص خود کار گفتار رقمی با استفاده از شبکه عصبی اسپایکینگ عمیق بر اساس وزن دهی فازی

ملیکا حامیان^۱، کریم فایز^{۲*}، سهیلا نظری^۳، ملیحه ثابتی^۴

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (Hamian.melika@gmail.com)

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (karim.facez@gmail.com)

۳- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (msoheilanazari21@yahoo.co)

۴- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (malihe.sabeti@gmail.com)

چکیده: علی‌رغم پیشرفت‌های انجام شده در طراحی شبکه‌های عصبی اسپایکینگ، آموزش این سیستم‌ها برای طبقه‌بندی و کاربردهای هوش مصنوعی از چالش‌های پیش‌رو برای طراحی آن‌هاست. در این مقاله ما یادگیری نظارت‌شده را در شبکه‌های عصبی اسپایکی برای مساله تشخیص و طبقه‌بندی رقم از روی سیگنال‌های گفتار، بررسی کرده‌ایم. در این روش، قانون یادگیری سیستم وزن‌دهی فازی با انعطاف‌پذیری وابسته به زمان اسپایک ادغام می‌شوند. قانون انعطاف‌پذیری وابسته به زمان اسپایک ترکیب شده با سیستم وزن‌دهی فازی، توزیع وزن تصادفی را ایجاد می‌کند که در آن محدوده پنجره انعطاف‌پذیری وابسته به زمان اسپایک کنترل می‌شود. شبکه عصبی اسپایکینگ از یک مجموعه نورون آموزشی با وزن‌دهی فازی برای کاهش تعداد وزن‌های هر نورون، در مرحله آموزش استفاده می‌کند که در آن داده‌های مرتبط با تمام کلاس‌ها به این نورون‌ها جهت تعیین وزن‌های آموزش و تخمین آستانه با کمک الگوریتم اسب وحشی، اعمال می‌شود. سپس این قانون وزن‌ها، به نورون‌های لایه‌های مختلف داده می‌شوند تا شباهت‌ها را در ویژگی‌های استخراج شده در بین کلاس‌ها به عنوان تابع هدف، منعکس نماید. نتایج روش پیشنهادی، دقت طبقه‌بندی ۹۸/۱۷٪ در پایگاه داده آزمایشی TIDIGITS را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سیستم تشخیص ارقام، شبکه عصبی اسپایکینگ، سیستم وزن‌دهی فازی

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

این گونه سیستم‌ها را افزایش داد [۳]. تشخیص گفتار به یک راهکار مهم برای بهبود رابط انسان و ماشین تبدیل شده است. با در نظر گرفتن محدودیت‌های سیستم‌های تشخیص خودکار گفتار فعلی (مانند راه‌حل‌های غیرواقعی مبتنی بر ابر)، علاقه به شبکه‌های عصبی و سیستم‌های الهام گرفته از زیستی، انگیزه اجرای روش‌های جدید را فراهم کرده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی^۲ به روش اصلی مدل‌سازی صوتی برای تشخیص خودکار گفتار واژگان بزرگ تبدیل شده‌اند. یک شبکه عصبی مصنوعی معمولی دارای یک معماری چند لایه است که به مقادیر زیادی محاسبات نیاز دارد و از پیچیدگی سخت افزاری رنج می‌برد [۴]. پردازش اطلاعات در مغز انسان از طریق فعال‌سازی نورون‌های حسی و متعاقباً ارسال ورودی‌ها به نورون‌های قشر مغز انجام می‌شود که منجر به الگوهای پیچشی پیچیده جمعیت‌های عصبی برای تصمیم‌گیری یا ذخیره اطلاعات می‌شود [۵].

۱- مقدمه

در طی چند سال اخیر محققان حوزه پردازش گفتار تلاش‌های زیادی برای بهبود عملکرد سیستم‌های خودکار بازشناسی گفتار^۱ در شرایط تمیز انجام داده‌اند. مقاوم‌سازی سیستم بازشناسی نسبت به تنوعات مختلف گفتاری (مانند تنوعات گوینده، لهجه، نویز محیط، کلنل انتقال و ...) نیز از دیگر حوزه‌های فعال در بحث بازشناسی گفتار است [۱]. بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه مقاوم‌سازی بازشناسی گفتار نسبت به تنوعات، روی سه روش عمده بهسازی گفتار، استخراج ویژگی‌های مقاوم و جبران‌سازی پارامترهای مدل صوتی متمرکز شده است [۲]. از طرفی دیگر، تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که نتایج به دست آمده از بهترین سیستم‌های خودکار بازشناسی گفتار، پایین‌تر از نتایج بازشناسی سیستم شنوایی انسان است. از این رو، می‌توان امید داشت با الهام گرفتن از عملکرد فیزیولوژیک شنوایی انسان، بازشناسی

² Artificial Neural Network (ANN)

¹ Automatic Speech Recognition (ASR)



را به این نداشت‌های فشرده شده اسپایک با وزن‌های آموزش داده شده اعمال کند. سپس با استفاده از رمزگذار خودکار اسپایکینگ به نتایج طبقه‌بندی اصلی تبدیل می‌شوند. تا جایی که ما می‌دانیم، این اولین کاری است که سنتز صدا از ویژگی‌های استخراج شده را در یک محیط مبتنی بر اسپایک با کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی و سیستم منطقی فازی انجام می‌دهد.

۲- کارهای مرتبط

آموزش شبکه‌های عصبی اسپایکینگ عمیق^۸ کار ساده‌ای نیست. در [۱۲]، یک چارچوب جدید تبدیل شبکه عصبی مصنوعی به شبکه عصبی اسپایکینگ و چارچوب یادگیری لایه‌ای را برای تشخیص الگوی سریع و کارآمد پیشنهاد می‌کند که به عنوان یادگیری پیش‌رونده شبکه‌های عصبی اسپایکینگ عمیق شناخته می‌شود. با مطالعه هم‌ارزی بین شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی اسپایکینگ در فضای نمایش گسسته، یک روش تبدیل شبکه بدوی معرفی می‌شود که از حداکثر استفاده از تعداد اسپیک برای تقریب مقدار فعال‌سازی نورون‌های آنالوگ استفاده می‌کند. برای جبران خطاهای تقریبی ناشی از تبدیل شبکه اولیه، یک روش یادگیری لایه‌ای را با یک زمان‌بندی آموزش تطبیقی برای تنظیم دقیق وزن‌های شبکه معرفی می‌کند. مقاله [۱۳] یک تحلیل مبتنی بر شبیه‌سازی برای طبقه‌بندی صدای پای انسان در محیط طبیعی با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان ساده انجام داد. در این تحلیل از شبکه عصبی اسپایکینگ، شامل یک طبقه‌بندی محاسباتی کم‌وزن که مشتق شده از یک شبکه عصبی مصنوعی است، برای طبقه‌بندی صداهای آکوستیک استفاده شد. رمزگذاری کارآمد از سیگنال‌های واقعی به اسپایک‌ها بسیار مهم است و به طور قابل توجهی بر عملکرد کلی سیستم تأثیر می‌گذارد. برای رمزگذاری موثر سیگنال‌ها به اسپایک‌ها، هم حفظ اطلاعات مربوط به کار مورد نظر و هم چگالی اسپایک‌های کدگذاری شده باید در نظر گرفته شود. در [۱۴]، چهار روش رمزگذاری اسپایک را در زمینه یک سیستم طبقه‌بندی رقمی مستقل از بلندگو مطالعه می‌کند. این روش‌ها دقت طبقه‌بندی را بهبود می‌دهند. استفاده از ترکیب شبکه‌های عصبی پراکنده و حسگرهای شنوایی نورومورفیک جایگزینی برای انجام وظیفه پردازش گفتار شبیه انسان ارائه می‌دهند. در [۱۵]، یک مدل شبکه عصبی کانولوشن اسپایکینگ پیاده‌سازی شد که در آن وزن اتصالات با آموزش یک شبکه عصبی کانولوشن با توابع فعال‌سازی خاص، با استفاده از تصاویر استاتیک مبتنی بر سرعت شلیک با اطلاعات اسپایکینگ به‌دست‌آمده از حلزون عصبی محاسبه شده است. این سیستم با یک مجموعه داده بزرگ که حاوی دستورات گفتاری «چپ» و «راست» است، آموزش داده و آزمایش شد و دقت ۸۹/۹۰٪ را به دست آورد.

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌هایی در الگوریتم‌های الهام‌گرفته از علوم اعصاب با توسعه شبکه‌های عصبی اسپایکینگ^۱ انجام شده است [۷، ۸]. این شبکه‌ها که از مدل‌های دینامیکی مختلف نورون‌های بیولوژیکی استفاده می‌کنند، مدل‌های محاسباتی هستند که اطلاعات را در حوزه زمان رمزگذاری و پردازش می‌کنند [۹]. شبکه‌های عصبی عمیق، شبکه‌های عصبی مصنوعی متشکل از بیش از دو لایه عصبی هستند که از آنالوگ ساختاری و عملکردی شبکه‌های قشری بسیار ساده‌شده، شکل گرفته‌اند [۱۰]. علاوه بر این، مدل‌های یادگیری عمیق می‌توانند در مورد اینکه چگونه مغز ممکن است به کارهای پیچیده در محیط‌های تعریف نشده دست یابد، توضیحات و مفروضاتی ارائه دهند [۱۱]. مدل‌های یادگیری عمیق معمولاً در بسیاری از انواع داده‌ها عملکرد خوبی دارند، اما همواره یک مجموعه داده بزرگ برای آموزش آنها برای تولید نتایج معنی‌دار ضروری است [۱۰]. با توجه به تعریف انجام شده برای شبکه عصبی اسپایکینگ و قابلیت اجرای سخت‌افزاری ساده این سیستم در پردازنده‌های کم‌مصرف، به کاربردهای مهم در این شبکه‌ها برای طبقه‌بندی و پردازش‌های هوش مصنوعی دست یافته‌ایم.

در این مقاله، از یک سری الگوریتم‌های فراابتکاری برای آموزش شبکه عصبی عمیق بر اساس قانون یادگیری سیستم وزن‌دهی فازی^۲ ادغام شده با انعطاف‌پذیری وابسته به زمان اسپایک^۳ استفاده شده است. مطالعه موردی ما برای کلاس بندی و تشخیص ارقام از روی سیگنال‌های صوتی می‌باشد. در این راستا از یک الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری^۴ برای انتخاب ویژگی‌های صوتی مقاوم در برابر تغییرات محیطی و نویزهای همراه، استفاده شده است. در یک محیط مبتنی بر اسپایک، ویژگی‌های انتخابی به‌عنوان ورودی را می‌توان به نداشت‌های اسپایک مکانی-زمانی فشرده تبدیل کرد؛ که سپس می‌توان در مدل‌های شبکه و روش‌های داده منتقل شود. رمزگذارهای خودکار اسپایکینگ بر اساس مدل نورونی ایزیکویچ^۵ برای طبقه ورودی استفاده شده و در مجموعه داده‌های TIDIGITS آموزش و آزمایش شد. همچنین یک چارچوب سنتز صدا از روی ویژگی‌های رمزشده، متشکل از شبکه‌های عصبی اسپایکینگ چند لایه و کاملاً متصل ارائه شد. سپس برای تولید نداشت‌های اسپایک فشرده فضایی-زمانی، ویژگی‌های انتخابی از نورون‌های مدل نشت‌یافته ادغام و آتش^۶ استفاده می‌شود. برای آموزش این نورون‌ها و به منظور تعیین وزن‌های ولتاژ-آستانه نورون‌های تعریف شده در شبکه از الگوریتم اسب وحشی^۷ استفاده شده است. اما نوآوری مهم این آموزش استفاده از یک سیستم وزن‌دهی تصادفی مبتنی بر منطق فازی است که برای هر نورون کافی است به جای تعریف حجم زیادی از وزن‌های ورودی هر نورون، تنها دو متغیر با کمک الگوریتم اسب وحشی محاسبه شود. سپس یک مجموعه داده‌های صوتی آموزشی برای کل شبکه می‌آموزد که نمونه‌های صوتی

⁵ Izhikevich neuron model

⁶ leaky integrate-and-fire (LIF)

⁷ Wild Horse Algorithm (WHO)

⁸ Deep Spiking Neural Networks (DSNN)

¹ Spiking Neural Networks (SNN)

² Fuzzy Weighting System (FWS)

³ Spike Time Dependent Flexibility (STDP)

⁴ Grey Wolf Optimization (GWO)



آموزش شبکه عصبی اسپایکینگ ارائه گردد تا ضمن کاهش پیچیدگی‌های آموزش به یک راه کار برای افزایش دقت آموزش دست یابد.

۳- مفاهیم مقدماتی

۳-۱- سیستم منطق فازی

مساله مهم در دسته‌بندی مجموعه اعداد این است که به طور قطع نمی‌توان گفت یک داده به صورت صددرصد به یک کلاس تطبیق می‌یابد. بنابراین مفهوم مجموعه فازی تعریف شده تا بتوان اعداد را بر اساس یک مدل تابع عضویت در یک مجموعه خاص به صورت نسبی اختصاص داد. مهمترین مرحله در پردازش فازی به پردازش اطلاعات با تکنیک فازی انتخاب شده و مشکلی که باید حل شود بستگی دارد. پردازش فازی دارای سه مرحله اصلی فازی‌سازی اطلاعات، استنتاج فازی بر اساس قوانین فازی تعریف شده، فاززدایی اطلاعات است. مراحل فازی‌سازی و فاززدایی شامل کدگذاری داده‌ها (فازی‌سازی) و رمزگشایی نتایج (فازی‌زدایی) است. این مراحل پردازش فازی را با روش فازی امکان پذیر می‌کند. بنابراین، فازی‌سازی و فاززدایی مهم‌ترین مراحل هستند که توانایی مدیریت مسئله با تکنیک‌های قوانین فازی را دارا است. دلیل اینکه منطق فازی بهتر از سایرین عمل می‌کند، این است که همه چیز از عدم دقت رنج می‌برد؛ در حالیکه منطق فازی درک خود را با در نظر گرفتن ساختار می‌سازد [۲۱]. از سوی دیگر، دلایل بسیاری مانند تصادفی بودن و ابهام منجر به عدم قطعیت در نتیجه پردازش اطلاعات و داده‌ها می‌شود [۲۲، ۲۳]. بر این اساس در این مقاله از یک الگوی فازی تصادفی برای تعریف وزن‌های مورد نیاز برای نورون‌های شبکه عصبی اسپایکینگ بهره خواهیم برد.

۳-۲- شبکه عصبی اسپایکینگ

شبکه‌های عصبی اسپایکینگ از تعداد زیادی عنصر پردازشی فوق‌العاده بهم‌پیوسته به نام نورون (با مدل‌سازی عصب‌های مغز) تشکیل شده که برای حل یک مسئله با یکدیگر به‌صورت هماهنگ عمل می‌کنند. این نورون‌ها با کمک اسپایک به هم ارتباط برقرار می‌کنند. شبکه عصبی شبکه‌ای از لایه‌هاست؛ معمولاً لایه‌ای که اطلاعات ورودی به آن‌ها داده می‌شود تحت عنوان لایه‌ی ورودی و لایه‌ای که داده‌های خروجی از آن دریافت می‌شود تحت عنوان لایه‌ی خروجی نامیده می‌شود و به لایه‌های دیگر بین این دو لایه (در صورت وجود) لایه‌های پنهان گفته می‌شود. برای تعداد لایه‌های پنهان بالا، شبکه عصبی اسپایکینگ عمیق تشکیل می‌شود. شبکه‌های عصبی اسپایکینگ، سیستم‌های محاسباتی هستند که توسط شبکه‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند که مغز حیوانات را تشکیل می‌دهند. منظور از یادگیری در شبکه‌های عصبی، تنظیم وزن‌ها و آستانه‌گذاری نورون‌ها در شبکه

در [۵]، شبکه‌های عصبی اسپایکینگ را با پویایی بازگشت ذاتی بهبود یافته پیشنهاد کرده است که قادر به یادگیری موثر دنباله‌های طولانی هستند. مزیت معماری‌های پیشنهادی کاهش تعداد پارامترهای قبل آموزش در مقایسه با حافظه طولانی کوتاه مدت^۱ است. طرح آموزشی ارائه شده برای آموزش معماری‌های پیشنهادی به شبکه‌های عصبی اسپایکینگ اجازه می‌دهد تا خروجی‌های چند بیتی (برخلاف اسپایک‌های باینری ساده) تولید کنند و به مشکل عدم تطابق گرادیان که به دلیل استفاده از تابع جایگزین برای غلبه بر عدم تمایز نورون‌های اسپایکینگ رخ می‌دهد، کمک کند. در [۱۶]، یک شبکه عصبی اسپایکینگ سلسله مراتبی^۲ بهینه‌سازی شده برای به حداکثر رساندن دقت تشخیص کلمه در محیط پرسروصدا و چندین سخنران سلسله مراتب سازمانی مسیر شنوایی صعودی را پیش‌بینی می‌کند. مقایسه با داده‌های مربوط به عصب شنوایی، مغز میانی، تالاموس و قشر مغز نشان می‌دهد که شبکه عصبی اسپایکینگ سلسله مراتبی بهینه چندین تغییر مسیر شنوایی صعودی از جمله تلفات متوالی قدرت تفکیک زمانی و طولانی هماهنگ‌سازی، افزایش پراکندگی و انتخاب‌پذیری را پیش‌بینی می‌کند. در [۱۷]، یک طرح رمزگذاری و رمزگشایی عصبی اسپایکینگ را پیشنهاد می‌کند که برای پردازش صدا بهینه شده است. در [۱۸]، روشی را برای سنتز تصاویر از روش‌های مختلف در یک محیط مبتنی بر سنبله پیشنهاد می‌کند. در این کار از رمزگذارهای خودکار اسپایکینگ برای تبدیل ورودی‌های تصویر و صدا به نمایش‌های فشرده مکانی-زمانی استفاده شد. در [۱۹] یک چارچوب قابل قبول بیولوژیکی، یعنی شبکه عصبی اسپایکینگ با خودسازماندهی بدون نظارت را پیشنهاد می‌کند. این چارچوب از نقشه خودسازماندهی بدون نظارت^۳ برای نشان دادن محتویات فرکانس تعبیه شده در سیگنال‌های صوتی استفاده می‌کند و به دنبال آن از یک شبکه عصبی اسپایکینگ مبتنی بر رویداد برای طبقه‌بندی الگوی اسپایکینگ فضایی-زمانی استفاده می‌کند. نتایج تجربی در مورد پایگاه داده صدای محیطی RWCP و مجموعه داده‌های رقم گفتاری TIDIGITS انجام شد، که دقت طبقه‌بندی رقابتی را نسبت به سایر مدل‌های مبتنی بر یادگیری عمیق و شبکه عصبی اسپایکینگ معمولی نشان می‌دهد. در [۲۰]، از شبکه عصبی اسپایکینگ برای مدل‌سازی صوتی استفاده می‌کند و عملکرد آن‌ها را در چندین سناریو تشخیص واژگان بزرگ ارزیابی می‌کند. نتایج تجربی دقت خودکار بازشناسی گفتار رقابتی را به هم‌تایان شبکه عصبی مصنوعی خود نشان می‌دهند؛ در حالی که برای طبقه‌بندی هر فریم صوتی تنها به ۱۰ مرحله زمانی الگوریتمی و به ۰/۶۸ برابر کل عملیات سیناپسی نیاز دارند.

با مطالعه تکنیک‌های مختلف اشاره شده در این بخش می‌توان به این نتیجه رسید که رویکردهای مختلفی برای آموزش و تعریف شبکه‌های عصبی اسپایکینگ ارائه شده است. در این مقاله با توجه به این مطالعات انجام شده سعی شد یک راه کار نوین و ساده برای نحوه

³ Self-Organizing Map (SOM)

¹ Long short-term memory (LSTM)

² Hierarchical Spiking Neural Networks (HSNN)



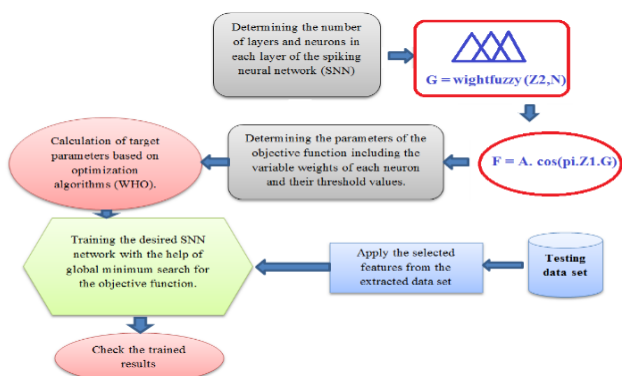
تولید قطار اسپایک از مدل ایزیکویچ [۲۶] برای نورون‌های لایه ورودی و از مدل نورون ادغام و آتش با طرح تولید قطار پالس در نورون‌های لایه میانی و خروجی استفاده می‌شود که می‌تواند به طور موثر این ویژگی‌های مبتنی بر قاب ثابت را با حداقل هزینه‌های محاسباتی پردازش کند. اگرچه نورون‌های ادغام و آتش دینامیک زمانی غنی نورون‌های بیولوژیکی را تقلید نمی‌کنند، اما برای کار با بازنمایی عصبی که در این کار استفاده می‌شود، ایده‌آل هستند؛ با این که زمان‌بندی اسپایک نقش ناچیزی دارد. اما با تعریف حداکثر فرکانس مداری نورون‌ها، می‌توان سرعت تحلیل شبکه عصبی اسپایکینگ را بالا برد [۲۷، ۲۸].

مشارکت‌های اصلی این مقاله عبارتند از:

- (۱) یک مدل نورونی که از یک مکانیسم رمزگذاری مبتنی بر مدل ایزیکویچ برای تبدیل یک ورودی با ارزش واقعی به الگوهای سنبله استفاده می‌کند.
- (۲) یک الگوریتم انتخاب ویژگی‌های مقاوم برای یک شبکه عصبی اسپایک عمیق که نیاز به یک پیش واحد ارسال نمونه‌های آموزشی دارد، معرفی می‌شود.
- (۳) ارائه یک الگوریتم یادگیری با قابلیت تعیین خودکار معماری شبکه بر اساس نمونه‌های آموزشی است.
- (۴) قوانین به‌روزرسانی وزن که به دستکاری‌های تصادفی محاسباتی با سیستم منطق فازی متکی هستند.

۲-۴- طرح آموزش شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی اسپایکینگ اطلاعات دریافت شده از طریق قطارهای اسپایک از لایه ورودی را پردازش می‌کنند. بنابراین، مکانیسم‌های خاصی برای رمزگذاری بردارهای ویژگی سیگنال‌های صوتی با ارزش پیوسته در قطارهای اسپایک و پردازش آن‌ها در لایه میانی و رمزگشایی نتایج طبقه‌بندی از فعالیت نورون‌های خروجی مورد نیاز است. برای این منظور، یک طرح رمزگذاری عصبی اسپایکینگ در این مقاله پیشنهاد شده که بر اساس یک وزن‌دهی تعریف شده فازی، و جستجو با الگوریتم فرا ابتکاری انجام می‌شود. در این بخش مراحل یادگیری شبکه عصبی اسپایکینگ عمیق مبتنی بر سیستم وزن‌دهی فازی (FWS-DSNN) تشریح می‌شود.



شکل (۱): مدل آموزش FWS-DSNN

می‌باشد. بر این اساس الگوریتم‌های متفاوتی بیان شده، که معمول‌ترین آنها یادگیری دلتا، یادگیری رقابتی و انعطاف‌پذیری وابسته به زمان اسپایک می‌باشد.

۳-۳- الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری

الگوریتم گرگ خاکستری توسط سید علی میرجلیلی در [۲۴] سال ۲۰۱۴ ارائه شده است. این الگوریتم فراکتشافی یا الگوریتم بهینه‌سازی بر اساس رفتار و شیوه شکار گرگ‌های خاکستری است. این الگوریتم مبتنی بر جمعیت بوده و فرآیند ساده‌ای دارد و به سادگی قابلیت تعمیم به مسائل با ابعاد بزرگ را دارد.

۳-۴- الگوریتم بهینه‌سازی اسب وحشی

الگوریتم‌های بهینه‌سازی معمولاً از رفتار طبیعی یک عامل الهام می‌گیرند که می‌تواند انسان، حیوان، گیاه یا یک عامل فیزیکی یا شیمیایی باشد. بسیاری از الگوریتم‌های ارائه شده در دهه گذشته از رفتار حیوانات الهام گرفته شده‌اند. در این مقاله از یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید به نام بهینه‌ساز اسب وحشی استفاده می‌کنیم که از رفتار اجتماعی اسب‌های وحشی الهام گرفته شده است. اسب‌ها معمولاً در گروه‌هایی متشکل از یک اسب نر و چند ماده‌یوان و کره اسب زندگی می‌کنند. اسب‌ها رفتارهای زیادی از خود نشان می‌دهند؛ مانند چرا، تعقیب، تسلط، رهبری و جفت‌گیری. رفتار جذابی که اسب‌ها را از سایر حیوانات متمایز می‌کند، ادب آن‌هاست. رفتار پرورش اسب به گونه‌ای است که کره‌اسب‌ها قبل از رسیدن به سن بلوغ گروه را ترک کرده و به گروه‌های دیگر می‌پیوندند. این خروج برای جلوگیری از جفت شدن پدر با دختر یا خواهر و برادر است. الهام‌بخش اصلی الگوریتم پیشنهادی رفتار مؤدبانه اسب است [۲۵].

۴- روش یادگیری پیشنهادی

چالش مهم در مساله یادگیری شبکه‌های عصبی اسپایکینگ عمیق، پیچیدگی‌های بسیار بالای تعیین مقادیر آستانه و وزن‌های هر نورون برای تعداد لایه‌های بالا و افزایش تعداد نورون‌ها می‌باشد. در این طرح پیشنهادی تلاش شده با کمک یک سیستم وزن‌دهی فازی این مقدار را کاهش دهیم. شکل (۱) نمای کلی رویکرد آموزش شبکه عصبی اسپایکینگ عمیق را نمایش داده است. در ادامه به تفسیر کامل این چارچوب پیشنهادی خواهیم پرداخت.

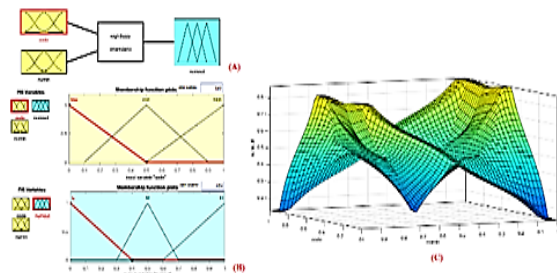
۴-۱- مدل نورون اسپایکینگ

همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده، ابتدا ویژگی‌های مبتنی بر فریم استخراج شده و به مدل‌های آکوستیک مبتنی بر شبکه‌های عصبی اسپایکینگ وارد می‌شوند. با توجه به مدت زمان کوتاه فریم‌های قطعه‌بندی شده و تغییرات آهسته سیگنال‌های گفتاری، این ویژگی‌ها معمولاً در طول دوره زمانی کوتاه فریم‌های قطعه‌بندی شده، ثابت فرض می‌شوند. مطابق با مقادیر ثابت برای ویژگی‌های استخراج شده ما برای

ایجاد یک مجموعه وزن‌دهی تصادفی از یک تابع ریاضی $A \cdot \cos(t.s)$ بهره برده‌ایم. این کار باعث می‌شود برای یک شبکه چند لایه با نورون‌های متعدد در هر لایه ما دیگر به محاسبه و تخمین وزن‌های زیاد برای تعریف هر نورون نیاز نداشته باشیم و تنها دو پارامتر Z_1, Z_2 را محاسبه نماییم. این عمل به کاهش پارامترهای قابل محاسبه برای تعریف نورون‌ها در هر لایه کمک می‌کند. این کاهش پارامتر به ساده‌سازی یادگیری و آموزش شبکه کمک می‌کند. در این راستا برای بهینه‌سازی محاسبه پارامترهای Z_1, Z_2 به همراه مقدار آستانه از الگوریتم بهینه‌سازی اسب وحشی استفاده کرده‌ایم. از طریق یک لایه‌گذاری وزنی فازی از نورون‌های مختلف در لایه‌های مختلف به یک توزیع تصادفی از وزن‌ها و مقدار آستانه دست می‌یابیم که منجر به آموزش شبکه می‌شود. در طول مرحله استنتاج، رقم صوتی ارائه شده توسط مدل شبکه آموزش دیده با اطلاعات ذخیره شده در مدل زبان و واژگان تلفظ ترکیب می‌شود. استفاده از سیستم وزن‌دهی فازی تصادفی به عنوان یک تعریف‌کننده وزن‌های تصادفی برای ایجاد سیستم تولید وزن، به جای استفاده از تخمین همه وزن‌ها با کمک الگوریتم فراابتکاری یک روش برجسته برای کاهش پیچیدگی آموزش شبکه FWS-DSNN است. بر اساس این روش، شبکه‌های عصبی پشت سر هم آنگونه که در شکل (۱) نشان داده شده، ساخته شد. در طول انتشار فعال‌سازی رو به جلو، از لایه‌های شبکه عصبی اسپایکینگ برای تعیین نمایش دقیق سنبله استفاده می‌شود که سپس تعداد کل سنبله‌ها و قطارهای سنبله را به ترتیب، به لایه‌های FWS-DSNN بعدی منتشر می‌کند. این ساختار لایه‌درهم، اطلاعاتی را که به لایه‌های شبکه متصل شده منتشر می‌شود، هماهنگ می‌کند.

جدول (۱): نمایش قوانین فازی

code	numin	numout
Low	Low	L
Low	Mid	M
Low	High	H
Mid	Low	H
Mid	Mid	M
Mid	High	L
High	Low	H
High	Mid	L
High	High	H



شکل (۲): سیستم فازی تعریف شده برای ایجاد وزن‌های تصادفی (الف): نمای کلی سیستم فازی (ب): توابع عضویت ورودی و خروجی (ج): مشخصه ورودی و خروجی مدار به ازای قوانین فازی جدول (۱)

برای آموزش مدل‌های صوتی عمیق مبتنی بر FWS-DSNN، که نوآوری اصلی این کار است، چندین ویژگی گفتاری محبوب از ضبط‌های آموزشی استخراج شده که برای کلاسه‌بندی ارقام ارائه شده است. در این راستا، ما از یک مجموعه داده‌های صوتی با شرایط مختلف و نویزی با گوینده‌های مختلف مرد و زن با فرکانس ۸ کیلوهرتز استفاده کرده‌ایم. ویژگی‌های استخراج شده از این سیگنال‌ها شامل ضرایب کپسترال فرکانس مل^۱، آشکارساز عبور از صفر^۲ و توان سیگنال‌های صوتی به‌عنوان گزینه‌های مناسب برای طبقه‌بندی ارقام استفاده شده است [۳۳]. قبل از وارد شدن به FWS-DSNN، این ویژگی‌های گفتاری ورودی با اتصال فریم‌های متعدد به منظور بهره‌برداری از اطلاعات بافت زمانی بیشتر، زمینه‌سازی می‌شوند. قبل از آموزش مدل آکوستیک مبتنی بر شبکه عصبی اسپایکینگ، هم‌ترازی ویژگی‌های گفتار با برجسب‌های هدف با استفاده از سیستم انتخاب ویژگی با الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی گرگ خاکستری بر اساس قوانین تعریف شده پیشنهادی انجام می‌شود. یک پراکندگی برای وزن‌های مختلف معرفی می‌شود که در این سیستم با مقدار Z_1 این پراکندگی را تغییر می‌دهیم. میزان پراکندگی هر ویژگی در طبقه‌های مختلف و تراکم هر ویژگی در هر طبقه، به دست می‌آید. با تعریف این تابع، ویژگی‌هایی که نسبت به طبقه‌بندی مربوط به خود، بیشترین تراکم آن ویژگی در هر طبقه داشته باشد و بیشترین پراکندگی ویژگی نسبت به طبقات مختلف داشته باشد، به‌عنوان بهترین گزینه برای ویژگی طبقه‌بندی انتخاب می‌شود. نتایج انتخاب ویژگی با کمک الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری انجام می‌شود.

در ادامه، با کمک ویژگی‌های انتخاب شده مراحل آموزش الگوریتم FWS-DSNN انجام می‌شود. برای هر ویژگی در لایه ورودی شبکه با مدل ایزیکویچ، قطار اسپایک ویژگی‌های مختلف تولید می‌شود. حال نوبت به تعریف وزن و آستانه از روی داده‌های آموزشی است. این داده‌ها، آموزش مدل صوتی عمیق FWS-DSNN را با رویکرد یادگیری پشت سر هم امکان پذیر می‌کند. در طول آموزش، شبکه می‌آموزد که ویژگی‌های گفتار ورودی انتخاب شده را با وزن‌دهی فازی و انتخاب آستانه بهینه‌شده با الگوریتم بهینه‌سازی اسب وحشی با قطارهای اسپایک ورودی از میان لایه‌های متعدد میانی و خروجی نورون‌های اسپایکینگ، بهینه کند. این طرح بهینه‌سازی فازی ابتدا بردار ویژگی ورودی مبتنی بر فریم X را تغییر می‌دهد، که در آن بردار ویژگی‌های $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ به شرح ذیل است.

$$[W_1, W_2, \dots, W_N] = \text{weighting}(Z_1, Z_2, \dots, Z_N)$$

$$F = \sum_{i=1}^N w_i \times x_i \quad (1)$$

که N تعداد ورودی‌های هر نورون است و Z_i معرف پارامترهای تولید وزن بر اساس مدل فازی می‌باشد. همچنین W_i معرف وزن‌های اختصاصی هر نورون می‌باشد. نکته نوآورانه این کار، وزن‌دهی چندگانه بر مبنای تولید وزن‌های تصادفی با سیستم منطقی فازی می‌باشد. برای

² Zero Crossing Rate (ZCR)

¹ Mel-frequency cepstral coefficients (MFCC)



داده شده است روش پیشنهادی WHO-FWS-SNN توانسته است بالاترین دقت را در مقایسه سایر روش‌های یادگیری ماشین ایجاد کند.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک طبقه‌بندی‌کننده عصبی جدید یادگیری متوالی برای شبکه عصبی اسپایکینگ، به نام FWS-SNN، برای مشکلات طبقه‌بندی ارقام از روی سیگنال‌های صوتی ارائه شده است. الگوریتم یادگیری متوالی WHO-FWS-SNN بعد از تعریف تعداد لایه‌ها و نورون‌های هر لایه به طور خودکار وزن‌دهی و تعیین آستانه نورون‌های میانی و خروجی مورد نیاز را تعیین می‌کند و وزن سیناپسی را با استفاده از سیستم وزن‌دهی فازی تصادفی با مجموعه داده‌های تست تطبیق می‌دهد. الگوریتم یادگیری از قوانین به‌روزرسانی وزن کم هزینه محاسباتی استفاده می‌کند که فقط به دو پارامتر برای هر نورون نیاز دارد. این روش پیچیدگی آموزش شبکه عصبی مورد مطالعه را کاهش می‌دهد. ما همچنین تعدادی از استراتژی‌ها را برای بهینه‌سازی شبکه عصبی اسپایکینگ برای پیاده‌سازی در سخت‌افزار با محدودیت حافظه و انرژی، از جمله تقریبی در محاسبه دینامیک عصبی و کاهش دقت در ذخیره‌سازی وزن‌های سیناپسی، توصیف می‌کنیم. روش وزن‌دهی فازی توانسته است با کاهش ۷۱/۹٪ از پارامترهای شبکه برای وزن‌دهی نورون‌ها کمک خوبی به کاهش پیچیدگی آموزش شبکه عصبی اسپایکینگ پیشنهادی بدهد. به عنوان کار آینده، ما آموزش شبکه‌های مکرر نورون‌های اسپایکینگ را برای کاربرد تشخیص گفتار برای کلاس‌بندی ارقام را بررسی خواهیم کرد تا عملکرد تشخیص را بهبود ببخشیم. برای این منظور در ادامه از یک مدل‌سازی فازی نوع دوم برای تعریف نورون‌ها جهت افزایش دقت می‌توان استفاده نمود.

مراجع

- [1] R. P. Lippmann, "Speech recognition by machines and humans," *Speech Communication*, vol. 22, no. 1, pp. 1-15, Jul. 1997, doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-6393\(97\)00021-6](https://doi.org/10.1016/s0167-6393(97)00021-6).
- [2] Y. SUH and H. KIM, "Cepstral Domain Feature Extraction Utilizing Entropic Distance-Based Filterbank," *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E93-D, no. 2, pp. 392-394, 2010, doi: <https://doi.org/10.1587/transinf.e93.d.392>.
- [3] L. Deng, "Processing of acoustic signals in a cochlear model incorporating laterally coupled suppressive elements," *Neural Networks*, vol. 5, pp. 19-34, 1992.
- [4] G. Raut, A. Biasizzo, N. Dhakad, N. Gupta, G. Papa, and S. K. Vishvakarma, "Data multiplexed and hardware reused architecture for deep neural network accelerator," *Neurocomputing*, vol. 486, pp. 147-159, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.11.018>.
- [5] Wachirawit Ponghiran and K. Roy, "Spiking Neural Networks with Improved Inherent Recurrence Dynamics for Sequential Learning," *Proceedings of the ... AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 36, no. 7, pp.

جدول ۲- مقایسه نتایج دقت روش‌های مختلف یادگیری ماشین.

ML methods (%)	ANFIS	ANN	WHO-SNN	WHO-FWS-SNN
Digit recognize	81.2	84.38	92.3	97.2
IRIS	95.85	96.27	95.47	98.93

۵- شبیه‌سازی و بحث نتایج

۵-۱- مجموعه داده‌ها و استخراج ویژگی‌ها

مجموعه داده TIDIGITS کلیپ‌های صوتی ضبط شده، که در آن بلندگوها ارقام را با صدای بلند می‌گویند. یک مجموعه داده ساده صوتی/گفتاری شامل ضبط ارقام گفتاری در فرمت wav با فرکانس ۸ کیلوهرتز است. ضبط‌ها به گونه‌ای بریده شده‌اند که در ابتدا و انتهای آن تقریباً حداقل سکوت را داشته باشند. این مجموعه از مراجع [۲۹ و ۳۰] برداشت می‌شوند. در کارهای مختلف [۳۱ و ۳۲] عمدتاً از ضرایب کپسترال فرکانس مل برای تمایز ارقام مختلف گفتاری استفاده شده است. برای ضرایب محاسبه شده از پنجره سیگنال صوت در این کار از یک مدل ویژگی‌های آماری استفاده شده است که در کنار ویژگی‌های مختلف آشکارساز عبور از صفر و توان سیگنال‌های صوتی، جمعاً ۷۷ ویژگی برای هر سیگنال صوتی استخراج می‌شود. به دلیل بالا بودن حجم پردازش محاسباتی در این مطالعه موردی به کمک الگوریتم گرگ خاکستری تنها هفت ویژگی اصلی شناخته و انتخاب می‌شود. معیار انتخاب ویژگی‌ها هم بر اساس بالاترین میزان پراکندگی بین طبقات و بالاترین میزان تراکم در هر طبقه برای تک تک ویژگی‌ها با تابع واریانس در برنامه MATLAB قابل محاسبه می‌باشد. بنابراین هر ویژگی‌ای که کمترین مقدار خروجی داده‌های تست را از روی سیگنال‌های صوتی برای تابع هدف ایجاد کند، به‌عنوان ویژگی برتر انتخاب می‌گردد. این جستجوی ویژگی‌های برتر با کمک الگوریتم گرگ خاکستری انجام می‌شود. در شکل (۱) چارچوب روند آموزش، نمایش داده شده است.

در این مقاله، برای آموزش شبکه پیشنهادی از الگوریتم اسب وحشی استفاده شده است. بنابراین، روش پیشنهادی FWS-SNN با رویکرد الگوریتم اسب وحشی با دو روش یادگیری ماشین، که شامل روش شبکه عصبی پیشخور و شبکه فازی عصبی تطبیقی^۱ است برای کلاس‌بندی سیگنال‌های صوتی برای ارقام ۰-۹ مقایسه شده است. این روش‌ها برای مجموعه داده‌های تست که به تعداد سی عضو که بر اساس داده‌های آموزش ۱۲۰ عضو تحت روش‌های مختلف آموزش داده شده است، بررسی می‌گردد. برای این مطالعه موردی، شبکه تعریف شده یک شبکه سه لایه با تعداد نورون‌های [15 8 1] برای تمام شبکه‌های یادگیری ماشین استفاده شده است. جدول (۲) نتایج مقایسه را برای دو مطالعه مورد نظر نشان می‌دهد. همانطور که نشان

¹ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)



- [21] Kaur, S.A.A. (2012) Modified Edge Detection Technique Using Fuzzy Inference System. International Journal of Computer Applications, 44, 9-12. - References - Scientific Research Publishing, Scirp.org, 2016. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1746187>
- [22] Khalid Anindyaguna, Noor Cholis Basjaruddin, and Didin Saefudin, "Overtaking assistant system (OAS) with fuzzy logic method using camera sensor," Jan. 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/icimece.2016.7910420>.
- [23] F. Jabr, "John A. Long - Publications List," *Publicationslist.org*, vol. 14, no. 6, 2021.
- [24] E. Zorarpacı and S. A. Özel, "A hybrid approach of differential evolution and artificial bee colony for feature selection," *Expert Systems with Applications*, vol. 62, pp. 91–103, Nov. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.004>.
- [25] M. H. Ali, S. Kamel, M. H. Hassan, M. Tostado-Véliz, and H. M. Zawbaa, "An improved wild horse optimization algorithm for reliability based optimal DG planning of radial distribution networks," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 582–604, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.023>.
- [26] "Dynamical Systems in Neuroscience," MIT Press, Jun. 18, 2024. <https://mitpress.mit.edu/9780262514200/dynamical-systems-in-neuroscience/> (accessed Sep. 24, 2024).
- [27] F. Ponulak and A. Kasinski, "Introduction to spiking neural networks: Information processing, learning and applications," *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, vol. 71, no. 4, pp. 409–433, 2011, Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22237491/>
- [28] V. Terrier, "Language Recognition by Cellular Automata," *Handbook of Natural Computing*, pp. 123–158, 2012, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-92910-9_4.
- [29] <https://github.com/Jakobovski/free-spoken-digit-dataset/blob/master>.
- [30] <https://www.kaggle.com/datasets/jackvial/freespokendigitsdataset>.
- [31] J. Wu, E. Yilmaz, M. Zhang, H. Li, and K. C. Tan, "Deep Spiking Neural Networks for Large Vocabulary Automatic Speech Recognition," *arXiv.org*, 2019. <https://arxiv.org/abs/1911.08373>
- [32] A. Pitti, Mathias Quoy, C. Lavandier, and Sofiane Boucenna, "Gated spiking neural network using Iterative Free-Energy Optimization and rank-order coding for structure learning in memory sequences (INFERNO GATE)," *Neural Networks*, vol. 121, pp. 242–258, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.09.023>.
- [33] K. Aizawa, Y. Nakamura, and Shin'ichi Satoh, *Advances in Multimedia Information Processing - PCM 2004*. Springer Science+Business Media, 2005. doi: <https://doi.org/10.1007/b104117>.
- 8001–8008, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.1609/aaai.v36i7.20771>.
- [6] F. I. Arce-McShane, B. J. Sessle, C. F. Ross, and N. G. Hatsopoulos, "Primary sensorimotor cortex exhibits complex dependencies of spike-field coherence on neuronal firing rates, field power, and behavior," *Journal of Neurophysiology*, vol. 120, no. 1, pp. 226–238, Jul. 2018, doi: <https://doi.org/10.1152/jn.00037.2018>.
- [7] S. Navlakha, Z. Bar-Joseph, and A. L. Barth, "Network Design and the Brain," *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 22, no. 1, pp. 64–78, Jan. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.09.012>.
- [8] D. Hassabis, D. Kumaran, C. Summerfield, and M. Botvinick, "Neuroscience-Inspired Artificial Intelligence," *Neuron*, vol. 95, no. 2, pp. 245–258, Jul. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.06.011>.
- [9] G. Deco, V. K. Jirsa, P. A. Robinson, M. Breakspear, and K. Friston, "The Dynamic Brain: From Spiking Neurons to Neural Masses and Cortical Fields," *PLoS Computational Biology*, vol. 4, no. 8, p. e1000092, Aug. 2008, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000092>.
- [10] Y. Bengio and Y. LeCun, "Scaling learning algorithms towards AI," Large-scale kernel machines, vol. 34, pp. 1–41, 2007.
- [11] N. Vogt, "Machine learning in neuroscience," *Nature Methods*, vol. 15, no. 1, pp. 33–33, Jan. 2018, doi: <https://doi.org/10.1038/nmeth.4549>.
- [12] J. Wu, C. Xu, D. Zhou, H. Li, and K. C. Tan, "Progressive Tandem Learning for Pattern Recognition with Deep Spiking Neural Networks," *arXiv.org*, 2020. <https://arxiv.org/abs/2007.01204> (accessed Sep. 24, 2024).
- [13] A. K. Mukhopadhyay, M. P. Naligala, D. L. Duggisetty, I. Chakrabarti, and M. Sharad, "Acoustic scene analysis using analog spiking neural network," *Neuromorphic Computing and Engineering*, vol. 2, no. 4, p. 044003, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.1088/2634-4386/ac90e5>.
- [14] S. Y. A. Yarga, J. Rouat, and S. Wood, "Efficient Spike Encoding Algorithms for Neuromorphic Speech Recognition," *Proceedings of the International Conference on Neuromorphic Systems 2022*, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.1145/3546790.3546803>.
- [15] Juan Pedro Dominguez-Morales *et al.*, "Deep Spiking Neural Network model for time-variant signals classification: a real-time speech recognition approach," Jul. 2018, doi: <https://doi.org/10.1109/ijcnn.2018.8489381>.
- [16] F. Khatami and M. A. Escabi, "Spiking network optimized for word recognition in noise predicts auditory system hierarchy," *PLOS Computational Biology*, vol. 16, no. 6, p. e1007558, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007558>.
- [17] Z. Pan, Y. Chua, J. Wu, M. Zhang, H. Li, and E. Ambikairajah, "An efficient and perceptually motivated auditory neural encoding and decoding algorithm for spiking neural networks," *arXiv.org*, 2019. <https://arxiv.org/abs/1909.01302> (accessed Sep. 24, 2024).
- [18] D. Roy, P. Panda, and K. Roy, "Synthesizing Images from Spatio-Temporal Representations using Spike-based Backpropagation," *arXiv.org*, 2019. <https://arxiv.org/abs/1906.08861> (accessed Sep. 24, 2024).
- [19] J. Wu, Y. Chua, M. Zhang, H. Li, and K. C. Tan, "A Spiking Neural Network Framework for Robust Sound Classification," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 12, Nov. 2018, doi: <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00836>.
- [20] J. Wu, E. Yilmaz, M. Zhang, H. Li, and K. C. Tan, "Deep Spiking Neural Networks for Large Vocabulary Automatic Speech Recognition," *arXiv.org*, 2019. <https://arxiv.org/abs/1911.08373> (accessed Sep. 24, 2024).





Islamic Azad University , Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iau.ir/journal/jcda



Data Analysis of Marketing Companies using Improved K-Means Clustering and LRFMM₂ Model

Atieh Mirzaei¹, Zahra Rezaei^{2*}

¹ Department of Computer Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
tyhmirzaii@yahoo.com

² Department of Computer Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran
zrezaei@iau.ac.ir

Abstract: Clustering, especially *k-means*, is one of the most important data mining techniques for identifying and monitoring customer behavior. In classical k-means, the optimality depends on the initial selection of the centers; therefore, it is not optimal. Another problem is determining the number of clusters and making the clusters zero. Customers' behavioral characteristics are considered in customer clustering, and a method is used to find the optimal number of clusters and the initial values of cluster centers to achieve more accurate results and predict customer lifetime. The results of this research show the customer behavior of each cluster. The proposed improved k-means method has been compared with the classical K-means once including the M_2 parameter (customer satisfaction level) and once without M_2 . The Normalized Mutual Information (NMI) criterion was calculated on the proposed method and the compared method, and in both cases, considering or missing the M_2 index, the NMI of the proposed method was higher. Also, the adjusted rand index with the M_2 parameter has recorded the highest number. In terms of time, it is faster than classical K-means, which shows that the proposed method has the best performance in terms of speed and performance accuracy compared to classical K-means.

Keywords: Clustering, K-means, Optimization, Marketing, Analysis

JCDSA, Vol. 2, No. 6, Summer 2024

Received: 2024-06-01

Online ISSN: 2981-1295

Accepted: 2024-08-23

Journal Homepage :<https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcda>

Published: 2024-09-15

CITATION

Mirzaei, A., and Rezaei, Z., "Data Analysis of Marketing Companies using Improved K-Means Clustering and LRFMM₂ Model", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 2, No. 6, pp. 19-29, 2024.

DOI: 00.00000/0000

COPYRIGHTS



©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

* Corresponding author

Extended Abstract

1- Introduction

Today's new economy primarily focuses on providing better services, and the present era is called the customer-oriented economy [1]. Sales transaction data generated by retail and e-commerce businesses is rapidly increasing today [2]. Network marketing companies sell their products online by recruiting network marketers. It is believed that keeping a customer is more important than finding a new customer, and this can be considered a job and profession that helps generate employment. The existence of great competitors in the field of business has led to escalating competition between organizations. Regardless of the size of the company, excellent customer service is critical to gaining new customers and retaining existing customers [3]. Effective customer knowledge management leads to effective customer relationship management (CRM). The interaction between organizations and customers has changed significantly, so there is no long-term guarantee of business continuity with customers. However, organizations must adequately identify their customers and anticipate their needs and expectations [4]. With a deep understanding of customer clustering, companies can create specific and targeted marketing strategies for each customer group [5]. Customer segmentation is the process of dividing the entire market into smaller customer groups, which makes it possible to understand the different needs and behaviors of customers and adapt the appropriate marketing approach or product recommendations to them [6]. This research is a step toward improving the marketing business in Iran, which will be used through the detection of violations from the data of marketing companies and for investigation by the institutions that supervise these businesses.

2- Methodology

The data collected from the database of network marketing companies was randomly extracted and included customer IDs and purchase amounts for each month from April 1996 to December 1996. The customer ID, the number of purchases made, the price paid, the date of purchase, and customer satisfaction have been calculated and extracted from the existing dataset. The data of each marketing company has a different structure, and to provide aggregated reports, it was necessary to aggregate all the data in a data warehouse with BI tools and to unify the data in terms of structure before doing anything. In the data mining phase, the transaction data is fragmented, including transaction date, purchase frequency (number of months the purchase was made), monetary value of the transaction, and customer satisfaction. To extract the L, R, F, M, and M_2 parameters of each customer in this research, the distance between the first and last purchase of the customer was calculated as the L feature. The algorithm's first step in the proposed method is determining each cluster's initial element. This method first starts with a cluster containing an element,

and in other steps, it calculates the distance of other elements from the center of the specified clusters. However, the data closest to the data mean is determined as the only member of the first cluster. After assigning each element to a cluster, the average data of that cluster is updated based on the Customer life cycle value (CLV).

3- Results and discussion

The *Custno* variable should be a number between 2000 and 5000. In this research, 2450 to 4000 classes were considered to increase the number of courses due to the small number of samples. Data that are placed in the same class have the same CLV value. Then, the total average of these CLVs is calculated according to *Custno*. The center point in K-means clustering is the point that represents a particular cluster and is the average of all data points in the cluster at each step (up to convergence) change. In determining the initial data of each cluster, suitable initial centers can speed up the convergence of K-means. The final results of the k-means algorithm depend on the initialization of the center. Two different clusters have been done on the data. The first clustering was done by considering the M_2 parameter (marketers' satisfaction level), and the second was done without considering M_2 . In the first clustering, customers in all clusters except the first to fifth clusters in this pyramid are in a favorable situation regarding L, R, F, M, and M_2 characteristics. Therefore, to retain these customers, the company is suggested to convert their loyalty behavior into a loyalty display through communicating and interacting with them. Based on this, customers in clusters 7 to 10 have the best conditions in terms of characteristics L, R, F, M, M_2 . In the second clustering, the data is divided into 3 clusters.

4- Conclusion

The main goal of the research is to use the k-means algorithm and find the length of customer life using parameters such as the distance between the first and last purchase of the marketer as L feature, the distance between the customer's last purchase and the end of the period as R feature, the number of months customer purchases in a specific time period as feature F, the total monetary value between the first and last purchase of a customer in a specific time period as feature M and the level of satisfaction of marketers as feature M_2 and predicting the probability of buying in the coming months and To find points with a big jump; the data is first sorted by CLV in ascending order. Then, the Euclidean distance value of each data is obtained from its previous data in ascending order of CLV. The distance between some data and the center of the first cluster and the obtained optimal center values are calculated. After that, these steps are repeated to obtain all the cluster centers. The optimal number of clusters has been calculated using the equations as 10. The lower the level of marketers' satisfaction, the CLV variable, which represents the customer's lifetime, also decreases. The results show that the proposed method correctly identified the number of clusters, but it was done in a shorter time.





تحلیل داده‌های شرکت‌های بازاریابی با استفاده از خوشه‌بندی K-Means بهبود یافته و مدل LRFMM₂

عطیه میرزایی^۱، زهرا رضایی^{۲*}

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (tyhmirezai@yahoo.com)
 ۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران (zrezaci@iau.ac.ir)

چکیده: خوشه‌بندی به ویژه k میانگین، یکی از مهمترین روش‌های داده‌کاوی است که در شناسایی و رصد رفتار مشتریان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در k میانگین کلاسیک، بهینگی وابسته به انتخاب اولیه مراکز بوده و در نتیجه، این روش، بهینه نیست. مشکلات دیگر آن تعیین تعداد خوشه‌ها و صفر شدن خوشه‌ها است. در خوشه‌بندی مشتری، ویژگی‌های رفتاری مشتری به عنوان روشی برای یافتن تعداد بهینه خوشه‌ها و مقادیر اولیه مراکز خوشه برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و پیش‌بینی طول عمر مشتریان در نظر گرفته شده است. نتایج این پژوهش رفتار مشتریان هر یک از خوشه‌ها را نشان می‌دهد و روش پیشنهادی بهبود یافته k میانگین یک بار با احتساب پارامتر M_2 (میزان رضایت مشتریان) و یک بار بدون M_2 با k میانگین کلاسیک مقایسه شده است. معیار اطلاعات متقابل نرمالیزه بر روی روش پیشنهادی و روش مورد مقایسه محاسبه شده و در هر دو حالت، با در نظر گرفتن یا فقدان شاخص M_2 ، معیار اطلاعات متقابل نرمالیزه روش پیشنهادی بالاتر بوده است. همچنین شاخص رند تعدیل یافته برای حالت روش پیشنهادی با احتساب پارامتر M_2 بالاترین عدد را ثبت کرده است. روش پیشنهادی از نظر زمان محاسباتی نیز سریعتر از k میانگین کلاسیک بوده که نشان می‌دهد این روش عملکرد بهتری را از نظر سرعت و دقت عملکرد نسبت به k میانگین کلاسیک دارد.

واژه‌های کلیدی: خوشه‌بندی، k میانگین، بهینه‌سازی، بازاریابی، تحلیل

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۰۲

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۲

به طوری که هیچ تضمین بلندمدتی برای تداوم تجارت با مشتریان وجود ندارد. با این حال، سازمان‌ها باید مشتریان خود را به درستی شناسایی کنند و نیازها و انتظارات آن‌ها را پیش‌بینی کنند [۴]. با درک عمیق از خوشه‌بندی مشتریان، شرکت‌ها می‌توانند برای هر گروه مشتری، استراتژی‌های بازاریابی خاص و هدفمند را ایجاد کنند [۵]. تقسیم‌بندی مشتری، فرآیند تقسیم کل بازار به گروه‌های مشتریان کوچکتر است که باعث می‌شود تا نیازها و رفتارهای مختلف مشتریان، درک شده و رویکرد بازاریابی مناسب یا توصیه‌های محصول را با آنها تطبیق داد [۶].

این تحقیق گامی است در جهت سالم‌سازی کسب و کار بازاریابی در ایران که از طریق شناسایی موارد تخلف از داده‌های شرکت‌های بازاریابی، کشف و جهت بررسی توسط نهادهای ناظر بر این کسب و کارها، مورد استفاده قرار خواهد گرفت. از جمله تخلفات موجود در این حوزه که برای کسب بالاسری بیشتر از فروش زیرمجموعه‌ها رخ می‌دهد، مجبور کردن بازاریابان زیرمجموعه به خرید محصولاتی است که قادر به فروش آن‌ها به مشتریان نیستند. طبق قوانین کشور، اجبار در خرید بایستی منجر به غیرفعال شدن کد بازاریابی فرد متخلف گردد. به همین جهت با استفاده از مدل LRFMM₂ و محاسبه طول عمر مشتری^۲ به کشف موارد تخلف

۱- مقدمه

اقتصاد جدید امروز به طور گسترده بر ارائه خدمات بهتر متمرکز شده و عصر حاضر را اقتصاد مشتری مداری می‌نامند [۱]. داده‌های تراکنش‌های فروش که توسط کسب‌وکارهای خرده‌فروشی و تجارت الکترونیک ایجاد می‌شوند؛ در دنیای امروزی به سرعت در حال افزایش است [۲]. شرکت‌های بازاریابی شبکه‌ای از طریق جذب بازاریاب به صورت شبکه‌ای اقدام به فروش محصولات خود به صورت آنلاین می‌نمایند. اعتقاد بر این است که حفظ مشتری مهمتر از یافتن مشتری جدید است و بیانگر آن است که این می‌تواند به عنوان یک شغل و حرفه محسوب شده و به اشتغال‌زایی کمک نماید. وجود رقبای فوق‌العاده در حوزه کسب و کار منجر به رقابت‌های تصاعدی بین سازمان‌ها شده است. صرف نظر از اندازه شرکت، خدمات عالی به مشتریان برای به‌دست آوردن مشتریان جدید و حفظ مشتریان موجود، از اهمیت زیادی برخوردار است [۳]. مدیریت موثر دانش مشتری، منجر به مدیریت کارآمد ارتباط با مشتری^۱ می‌شود. تعامل بین سازمان‌ها و مشتریان به طور قابل توجهی تغییر کرده است؛

² Customer Life Cycle (CLV)

¹ Customer Relationship Management (CRM)



پرداخته خواهد شد. بدین ترتیب که معمولاً در اجبار در خرید، بازاریابان در ماه‌های ابتدای عضویت‌شان خریدهایی با مبالغ نه چندان کم انجام می‌دهند و در ماه‌های بعد از آن به علت عدم توانایی در فروش محصولات به مشتری، خریدی انجام نمی‌دهند. یافتن این افراد از طریق خوشه‌بندی صحیح انجام می‌شود. روش‌های خوشه‌بندی می‌تواند داده‌های ارزیابی‌های مشتریان را در خوشه‌های مختلف تقسیم‌بندی کند. سپس، مدیران، مدیریت ارتباط با مشتری خود را توسعه خواهند داد و با توجه به ترجیحات^۱ مشتریان، آن‌ها را خوشه‌بندی کنند. در این مقاله، خوشه‌بندی بهینه بازاریابان بر اساس تعداد ماه‌هایی که خرید کرده‌اند، فاصله زمانی از آخرین خریدشان و میزان مبلغ خریدی که انجام داده‌اند، صورت می‌پذیرد. به کمک روش دیوس بولدین تعداد خوشه‌های بهینه تعیین می‌شوند. افزایش سرعت و دقت اجرای الگوریتم k میانگین^۲ و مقایسه‌ی آن با k میانگین کلاسیک از اهداف این تحقیق می‌باشد. در مرحله بعد اعضا، بر اساس پارامترهای LRFMM₂ خوشه‌بندی می‌شوند. در ادامه ارزش طول عمر مشتری برای هر یک از خوشه‌های موجود محاسبه و خوشه‌ها بر اساس ارزش طول عمر مشتری آنها رتبه‌بندی می‌شوند. در نهایت با استفاده از الگوهای پیشین و مدل ارزش طول عمر مشتری در هر خوشه و انجام سعی و خطا، الگوهای سفارشی به دست می‌آید. نوآوری دیگر این پژوهش استفاده از پارامتر M_2 که نارضایتی مشتریان است، می‌باشد که برای شناسایی بازاریابانی که توسط بالاسری‌های خود اجبار در خرید داشته‌اند، استفاده شده است. در این تحقیق روش پیشنهادی از طریق معیار اطلاعات متقابل نرمالیزه، معیار ارزیابی الگوریتم جهت تشخیص دقت و صحت و همچنین شاخص رند تعدیل یافته با احتساب M_2 و بدون M_2 با k میانگین کلاسیک مقایسه شده است.

در ادامه این مقاله، بررسی جامعی از روش‌های بازاریابی انجام می‌شود. در بخش سوم، مدل پیشنهادی تحلیل داده‌های شرکت‌های بازاریابی بیان می‌شود. بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج را نشان می‌دهد. در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری مطرح می‌شود.

۲- مرور ادبیات

به طور سنتی مشتری بخش‌بندی با استفاده از روش‌های مبتنی بر آمار که مجموعه‌ای از آمار را از داده‌های مشتری محاسبه می‌کند و مشتریان را گروه می‌کند، به دست می‌آید. اعمال الگوریتم‌های خوشه‌بندی مبتنی بر فاصله در فضای این آمار، به بخش‌ها تقسیم می‌شوند. تیانی جیانگ و الکساندر توژیلین [۷] رویکرد مبتنی بر گروه‌بندی را پیشنهاد دادند که برای محاسبه بخش‌های مشتری، بر اساس ترکیب بهینه داده‌های تراکنشی چندین مشتری برای ایجاد یک مدل داده‌کاوی به کار گرفته شد. آنها دریافتند که یافتن یک بخش مشتری، بهینه NP-hard است؛ بنابراین چندین گروه‌بندی مستقیم زیر بهینه را پیشنهاد کردند. تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی یک کار توصیفی است که به دنبال شناسایی

گروه‌های همگن از اشیا، بر اساس مقادیر ویژگی‌های آنهاست. سوراب شاه و مانموهان سینگ [۸] الگوریتم خوشه‌بندی جدیدی ارائه دادند که شبیه الگوریتم k میانگین و K -medoids است و چندین روش را برای انتخاب خوشه اولیه آزمایش کردند. الگوریتم k میانگین اصلاح شده از نظر تعداد خوشه‌ها و مقایسه زمان اجرا در مقایسه با الگوریتم‌های k میانگین و K-Mediod نتایج بهتری به دست آورد. سانگ چو و سونگ چول [۹] یک الگوی وزنی جدید استخراج فرکانس مبتنی بر امتیاز RFM^۴ مشتری برای سیستم توصیه‌های تجاری u-commerce شخصی شده را پیشنهاد کردند. سیستم‌های سنتی دارای مشکلاتی مانند تاخیر در سرعت پردازش داده، در نظر گرفتن وزن برابر برای هر آیتیم هستند. در این مقاله، برای حل این مشکلات، داده‌های متداول خریداری شده از کل داده‌ها استخراج شده، اهمیت ویژگی اقلام در نظر گرفته شده تا با تأکید بر موارد مهم با قابلیت خرید بالا، روندهای متوالی در حال تغییر، پیش‌بینی شود. برای تأیید عملکرد روش بهبود یافته، آزمایش‌هایی با مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده در یک مرکز خرید اینترنتی لوازم آرایشی انجام شده است.

ایکس او و سی لی [۱۰] یک مدل تقسیم‌بندی سه بعدی مشتری بر اساس ارزش طول عمر مشتری، رضایت مشتری و فعالیت مشتری پیشنهاد دادند که مشتریان را با دقت بیشتری به گروه‌های مختلف تقسیم می‌کند. متغیرهای مربوطه توسط مدل RFM، مدل کانو و مدل BG/NBD به دست آمده است. مدل تقسیم‌بندی مشتری، ده گروه از مشتریان را با استراتژی‌های بازاریابی مربوطه ارائه می‌کند؛ به طوریکه می‌تواند به شرکت‌ها در به حداکثر رساندن سود کمک کند. فروشگاه‌های اینترنتی با به‌کارگیری مفهوم مدیریت ارتباط با مشتری می‌تواند مشتریان را شناسایی کند، بنابراین مشتریان می‌توانند با توجه به نیاز خود، از تسهیلات ویژه در استراتژی‌های بازاریابی مناسب برخوردار شوند. لیسنا زهروتون [۱۱] با استفاده از مفهوم مدیریت ارتباط با مشتری برای خرید آنلاین، مشتریان بالقوه را با تقسیم‌بندی مشتریان شناسایی کردند. بنابراین برای تقسیم‌بندی مشتری و بازاریابی دقیق، از روش خوشه‌بندی فازی استفاده کردند که به افزایش سود شرکت کمک می‌کند. علیزاده و همکاران [۱] برای تحلیل ویژگی‌های رفتار خرید مشتریان، به منظور بهبود عملکرد سیستم مدیریت ارتباط با مشتری، یک روش سیستماتیک را پیشنهاد دادند. برای این منظور، از مدل بهبود یافته LRFM (شامل شاخص‌های طول، تازگی، فرکانس و پولی) استفاده شد که در حال حاضر مدل رایج‌تری نسبت به مدل پایه RFM برای تحلیل ارزش طول عمر مشتری است. از آنجایی که مدل RFM وفاداری مشتریان را در نظر نمی‌گیرد؛ از مدل LRFM برای ایجاد اصلاحات استفاده شده است. برخلاف بسیاری از مطالعات گذشته که در آن از روش‌های خوشه‌بندی آماری در کنار مدل RFM یا LRFM استفاده شده است؛ مطالعه حاضر امکان تحلیل خوشه‌بندی را با وارد کردن شاخص‌های LRFM در چارچوب یک سیستم استنتاج فازی فراهم کرده است. نتایج به دست آمده

³ nondeterministic polynomial time problem

⁴ Recency, Frequency, Monetary Value

¹ preferences

² k-Means algorithm



توسط k میانگین خوشه‌بندی شد. آلیچا راجوال و همکاران [۶] روش جدیدی را برای مقابله با مجموعه داده‌های مختلط برای تقسیم‌بندی مشتری پیشنهاد کردند. متغیرهای طبقه‌بندی شده با استفاده از یک مدل ابتکاری بدون نظارت بر اساس رمزگذار خودکار تعبیه شدند. سپس، مشتریان با استفاده از الگوریتم‌های مختلف خوشه‌بندی بر اساس ماتریس‌های شباهت به گروه‌ها تقسیم شدند. علاوه بر روش کلاسیک k میانگین و DBSCAN جدیدتر، سه الگوریتم دیگر شامل: الگوریتم لووین، الگوریتم حریص و الگوریتم انتشار برچسب استفاده شد. این تحقیق بر روی دو مجموعه داده انجام شد که یکی شامل مشتریان خرده‌فروشی و دیگری شامل مشتریان عمده فروشی بود.

کارایی الگوریتم خوشه‌بندی k میانگین به عنوان روشی برای تقسیم‌بندی کارآمد مصرف‌کننده توسط مالایی و همکاران [۳] بررسی شد. الگوریتم k میانگین ادغام شده با تجزیه و تحلیل RFM در سطح جهانی به عنوان یک روش خوشه‌بندی بخش‌بندی عمیق معتبر است که ثابت کرده در تنظیمات مختلف تجاری بسیار کارآمد است. نتایج تجربی شواهد متقاعدکننده‌ای از عملکرد الگوریتم از نظر تقسیم‌بندی مصرف‌کننده را ارائه کردند. مقدار خلوص بالای به‌دست آمده (۰/۹۵) کارایی الگوریتم خوشه‌بندی k میانگین را از نظر تقسیم‌بندی و طبقه‌بندی دقیق مشتریان نشان می‌دهد و استراتژی‌های بازاریابی هدفمند و رویکردهای شخصی‌سازی شده را تسهیل می‌کند. محمد فرهان و جری هیکل [۵] استفاده از خوشه‌بندی k میانگین را مورد بحث قرار دادند. این فرآیند شامل گروه‌بندی داده‌های مشتری بر اساس عوامل مختلفی مانند نوع انتقال، رضایت مشتری، روش پرداخت و شعبه بانک است. خوشه‌های به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند تا مشخصات و نیازهای مختلف مشتریان را شناسایی کنند. هدف از تحقیق بانکیت ایندارماوان و همکاران [۲]، توسعه مدل تقسیم‌بندی مشتری با استفاده از k میانگین بهینه بود. الگوریتم خوشه‌بندی برای گروه‌بندی دقیق‌تر مشتریان بر اساس داده‌های معاملات فروش، ارائه شد. الگوریتم گروه‌بندی، مشتریان را به سه خوشه بر اساس خرید تقسیم کرد. نتایج، اثربخشی الگوریتم k میانگین بهینه را نشان داد.

۳- روش پیشنهادی

در این تحقیق، روش پیشنهادی در مراحل زیر اجرا می‌شود:

۳-۱- آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها

استخراج داده‌ها، مقیاس‌گذاری پارامترهای M_1 , M , F , R , L ، داده‌های مشتری و تشخیص فاصله و پاکسازی از مراحل آماده‌سازی و پردازش داده‌ها است. اطلاعات داده‌های جمع‌آوری شده از پایگاه داده شرکت‌های بازاریابی شبکه‌ای به‌صورت

برای یک شرکت عمده‌فروشی بر اساس رویکرد پیشنهادی نشان داد که بین خوشه‌ها از نظر چهار شاخص LRFM تفاوت معناداری وجود دارد. بنابراین می‌توان از این رویکرد برای خوشه‌بندی مشتریان و بررسی ویژگی‌های آنها استفاده کرد. نقطه قوت این رویکرد در مقایسه با رویکردهای قدیمی، انعطاف‌پذیری بالای آن است، زیرا در آن نیازی به خوشه‌بندی مجدد مشتریان و تدوین مجدد استراتژی‌ها در صورت افزایش یا کاهش تعداد مشتریان نیست.

خوشه‌بندی چند هسته‌ای^۱ به دلیل عملکرد رقابتی در یادگیری بدون نظارت، نظرات قابل توجهی را به خود جلب می‌کند. با این حال، مشاهده می‌شود که بسیاری از رویکردهای موجود خوشه‌بندی چند هسته‌ای ارتباط بین بخش‌های خوشه‌بندی مختلف را به اندازه کافی در نظر نمی‌گیرند. در نتیجه، روش‌های موجود باعث ایجاد تنوع زائد و کم‌بخش‌های خوشه‌بندی انتخاب شده می‌شوند که عملکرد خوشه‌بندی را بدتر می‌کنند. برای پرداختن به این موضوعات، یک روش خوشه‌بندی چند هسته‌ای k میانگین موثر و کارآمد توسط جی هو و همکاران [۱۲] ارائه شد. در این روش، تراز حداکثری بخش توافقی با بخش‌های پایه وزنی پیشنهاد می‌شود. الگوریتم مورد نظر، به طور مشترک بخش‌های خوشه‌بندی پایه و نتیجه خوشه‌بندی توافقی بهینه را بهینه می‌کند. در [۴]، ویژگی‌های رفتاری مشتریان (ویژگی مخرب) را در نظر گرفتند که برای خوشه‌بندی مشتریان، تعیین بهینه تعداد خوشه‌ها و مقادیر اولیه مراکز خوشه برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر بود. در نهایت، با توجه به نیاز سازمان‌ها به استخراج دانش از دیدگاه مشتریان از طریق رتبه‌بندی مشتریان بر اساس عوامل موثر ارزش مشتری، روشی برای مدل‌سازی رفتار آن‌ها و استخراج دانش برای ارتباط با مشتری پیشنهاد شده است. نتایج ارزیابی مشتریان شرکت همکاران سیستم نشان می‌دهد که روش بهبود یافته k میانگین ارائه شده در این مقاله از نظر سرعت و دقت نسبت به الگوریتم k میانگین برتری دارد. در مورد بیمه عمر، ضریب نفوذ یکی از اهداف اصلی هر صنعت بیمه توسعه یافته است. از این نظر بازاریابی سیستماتیک جزء مهمی در برنامه استراتژیک شرکت‌های بیمه است. برای دستیابی به هدف، بیمه‌گران باید مشتریان خود را در گروه‌های مختلف گروه‌بندی کنند که در آن برخی ویژگی‌های مشترک است و افراد الگوی مشابهی را نشان می‌دهند. در [13]، از خوشه‌بندی k میانگین به عنوان یک الگوریتم یادگیری بدون نظارت به منظور تقسیم مشتریان به تعدادی خوشه استفاده می‌کند. خوشه‌ها بر اساس دو متغیر مستقل ساخته شده‌اند: حق بیمه ماشین و عمر. سپس آمار توصیفی سایر ویژگی‌های تعیین‌کننده ارائه می‌شود که با آن بیشترین تمایل در خرید بیمه عمر ارائه می‌شود.

با ارائه داده‌های مرتبط و به موقع به واحدهای تجاری در صنعت خرده‌فروشی، استفاده از هوش تجاری در شناسایی مشتریان بالقوه را در [۱۴] بررسی کردند. به منظور اجرا و اعمال رویکرد علمی با استفاده از الگوریتم k میانگین، داده‌های معاملاتی و خرده‌فروشی به‌صورت آبی، تجزیه و تحلیل شدند. در این مطالعه، بر اساس RFM مجموعه داده

¹ Multiple kernel clustering (MKC)

۳-۳- مدل سازی

روشهای مختلفی برای اجرای پروژه‌های داده‌کاوی ارائه شده‌اند؛ اما یکی از قدرتمندترین روشها، روش CRISP^۱ است این روش به عنوان یک روش فرآیندی، چرخه حیات یک پروژه داده‌کاوی را دربرمی‌گیرد. روش CRISP همچنین یک روش چرخشی است که شش مرحله عملیات داده‌کاوی را به طور کامل هدایت می‌کند. این شش مرحله شامل شناخت کسب و کار، شناخت داده، پیش‌پردازش، مدل‌سازی، ارزیابی مدل و توسعه مدل است. مراحل مدل‌سازی در شکل (۱) نشان داده شده است.

۳-۴- خوشه‌بندی

با استفاده از مدل خوشه‌بندی k میانگین، شرکت‌ها می‌توانند بخش‌های مختلف بازار را شناسایی کنند [۵]. برای پیش‌بینی دقیق رفتار مشتری، الگوریتم‌های خوشه‌بندی، به‌ویژه k میانگین یکی از مهم‌ترین روش‌های داده‌کاوی مورد استفاده در بازاریابی مدیریت ارتباط با مشتری است که با آن می‌توان رفتار مشتریان را شناسایی کرد. با این حال، در مطالعات مختلف در مورد خوشه‌بندی k میانگین مشاهده شده که مشتریان با شاخص‌های رفتاری متفاوت در خوشه‌بندی ممکن است یکسان به نظر برسند؛ به این معنی که شاخص‌های رفتاری مشتری نقش مهمی در خوشه‌بندی مشتریان ندارند. بنابراین اگر میزان مشارکت مشتری به پارامترهای رفتاری مانند میزان رضایت آنها بستگی داشته باشد، می‌تواند بر روی خوشه‌های k میانگین اثر منفی داشته باشد و نتیجه قابل قبولی نداشته باشد [۴] و استراتژی‌های بازاریابی متناسب با هر یک از آنها را توسعه دهد. در تعیین داده‌های اولیه هر خوشه باید توجه داشت که مراکز اولیه مناسب می‌توانند همگرایی k میانگین را تسریع کنند. در روش پیشنهادی، اولین قدم در الگوریتم، تعیین عنصر اولیه هر خوشه است. این روش در ابتدا با یک خوشه حاوی یک عنصر آغاز می‌شود و در مراحل دیگر، فاصله سایر عناصر از مرکز خوشه‌های مشخص شده را محاسبه می‌کند. با این حال، نزدیکترین داده به میانگین داده به عنوان تنها عضو خوشه اول تعیین می‌شود. پس از اختصاص هر عنصر به یک خوشه، میانگین داده آن خوشه براساس طول عمر مشتری مطابق با (۱) به روز می‌شود. این معادله برای هر ویژگی مرکز خوشه و داده‌های جدید اعمال می‌شود:

$$Ave_{new} = \frac{data_{new} + (c \cdot Ave_{old})}{size_{old} + 1} \quad (1)$$

که در آن $data_{new}$ عنصر ورودی جدید به خوشه است، ave_{old} میانگین عناصر قبلی در خوشه است و $size_{old}$ تعداد عناصر خوشه قبل از ورود عنصر جدید به خوشه است. در ادامه، فاصله بین تمام عناصر مجموعه داده و مرکز خوشه محاسبه می‌شود. سپس، دو عنصر استخراج می‌شود. اولین عنصری که کمترین فاصله را با مرکز خوشه دارد عضو جدید خوشه اول است و عنصر دوم که بیشترین فاصله را با مرکز خوشه دارد اولین عنصر خوشه دوم است. روند افزودن دو عنصر به خوشه‌ها تکرار می‌شود به طوری که هر خوشه k حداقل یک عضو دارد. در نهایت، فاصله بین

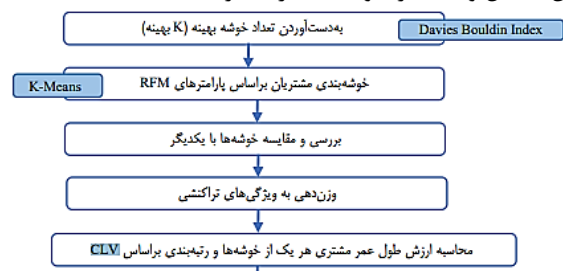
تصادفی استخراج شده و شامل شناسه مشتری و مبلغ خرید در هر ماه از فروردین ۱۳۹۶ تا دی ماه ۱۳۹۶ می‌باشد. از پایگاه داده موجود شناسه مشتری، دفعات خریدهای انجام شده، قیمت پرداخت شده، تاریخ خرید و رضایت مشتری محاسبه و استخراج شده است. داده‌های شرکت‌های بازاریابی دارای ساختاری متفاوت می‌باشند که جهت ارائه گزارشات تجمیعی لازم بود که کلیه داده‌ها در یک انبار داده با ابزارهای BI تجمیع شده و پیش از انجام هر کاری، یکسان‌سازی داده‌ها از لحاظ ساختار صورت پذیرد.

این اختلاف ساختار شامل موارد ذیل بوده است:

- برخی تاریخ‌ها میلادی و برخی شمسی ثبت شده‌اند.
- برخی مقادیر به ریال و برخی به تومان درج شده‌اند.
- با توجه به اینکه در شرکت‌های بازاریابی بالاسری‌ها به صورت ماهانه واریز می‌گردد؛ لذا تعداد ماه‌های خرید ملاک است. برای به‌دست آوردن تعداد ماه‌هایی که بازاریاب خرید انجام داده، تاریخ‌های خریدی که به صورت میلادی ذخیره شده، بایستی ابتدا به شمسی تبدیل و سپس فقط ماه خرید از تاریخ فوق‌الذکر استخراج شود.

۳-۲- استخراج داده

در مرحله استخراج داده‌ها، داده‌های معامله به‌طور جزئی وجود دارد که شامل تاریخ معامله، تعداد دفعات خرید (تعداد ماه‌هایی که خرید انجام شده)، ارزش پولی معامله و رضایت مشتری است. برای استخراج پارامترهای L ، R ، F ، M و M_2 هر مشتری در این تحقیق، فاصله بین اولین و آخرین خرید مشتری به عنوان ویژگی L محاسبه شد. فاصله بین آخرین خرید مشتری و پایان دوره زمانی به عنوان ویژگی R محاسبه می‌شود. تعداد دفعات خریدها بر حسب ماه، بین اولین و آخرین خرید مشتری به عنوان ویژگی F محاسبه می‌شود. ارزش کل پولی بین اولین و آخرین خرید مشتری در یک بازه زمانی خاص به عنوان ویژگی M محاسبه می‌شود. در این تحقیق، سوءاستفاده از مشتری (ویژگی M_2) نیز به عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در مدیریت ارتباط با مشتری در نظر گرفته شده که از رضایت مشتری در هر رکورد از مجموعه داده‌ها محاسبه می‌شود و میزان حداقل و حداکثر سواستفاده از مشتری است.



شکل (۱): مراحل مدل‌سازی

^۱ CRoss Industry Standard Process



در این تحقیق به دلیل کم بودن تعداد نمونه‌ها، مقدار این متغیر ۲۴۵۰ تا ۴۰۰۰ در نظر گرفته شده تا تعداد کلاس‌ها زیاد شود. داده‌هایی که در یک کلاس قرار می‌گیرند مقدار طول عمر مشتری یکسانی دارند. سپس میانگین کل این طول عمر مشتری‌ها برحسب *Custmo* محاسبه شده است. نقطه مرکز در روش *k* میانگین، نقطه‌ای است که به عنوان نماینده خوشه عمل می‌کند و میانگین همه نقاط داده در خوشه است که در هر مرحله (تا زمان همگرایی) تغییر می‌کند. در تعیین داده‌های اولیه هر خوشه، مراکز اولیه مناسب می‌توانند همگرایی *k* میانگین را تسریع کنند. نتایج نهایی به مقاردهای اولیه مرکز بستگی دارد.

۴-۳- متوسط مقادیر مشخصه‌ها

جدول‌های (۲، ۳) متوسط مقادیر مشخصه‌ها در هر خوشه را با احتساب M_2 نشان می‌دهد. با مقایسه این دو جدول، می‌توان دریافت که روش پیشنهادی و روش *k* میانگین صرفاً به ازای خوشه اول، مقادیر مشخصه‌های همسانی حاصل نموده‌اند. همچنین در روش پیشنهادی، مقادیر طول عمر مشتری نسبت به روش *k* میانگین کلاسیک در هریک از خوشه‌ها بیشتر است. رابطه میان میزان چرخه عمر مشتری به ازای داده‌های هریک از خوشه‌ها در روش پیشنهادی و روش مورد مقایسه (*k* میانگین کلاسیک) با احتساب و بدون احتساب M_2 در شکل-۲-۵) نشان داده شده است. از شکل‌ها مشخص است که ارزش طول عمر مشتری در هر دو روش پیشنهادی و مورد مقایسه بادر نظر گرفتن معیار M_2 در بازه [0-0.6]، و بدون M_2 که در بازه [0-0.4]، است. به عبارتی دیگر می‌توان گفت در هر دو روش، وقتی معیار M_2 مورد ملاحظه قرار گیرد، با روند افزایشی در بازه [0-0.6] مواجه خواهیم بود؛ اما در صورتیکه در هر دو روش، معیار M_2 مورد ملاحظه قرار نگیرد، آنگاه شاهد روند افزایشی در بازه [0-0.4] خواهیم بود. از طرفی در خصوص مقایسه میان دو این روش در حالت در نظر گرفتن M_2 ، می‌توان ادعا کرد که به ترتیب با ۱۰ و ۸ خوشه مواجه هستیم به طوریکه روش پیشنهادی از خوشه ۸ به بعد با افزایش چرخه عمر مشتری بیش از ۰/۴ مواجه است؛ اما در روش *k* میانگین ساده، صرفاً داده‌ها در ۸ خوشه قرار گرفته‌اند و از خوشه ۹ به بعد تا خوشه ۸، روند افزایشی بیشتر از ۰/۴ مواجه است. در خصوص مقایسه میان دو روش پیشنهادی و روش *k* میانگین در حالت فقدان معیار M_2 ، می‌توان ادعا کرد که به ترتیب برای هریک از روش‌ها با ۱۰ و ۸ خوشه مواجه هستیم به طوریکه روش پیشنهادی از خوشه ۸ به بعد با افزایش چرخه عمر مشتری بیش از ۰/۳ مواجه است اما در روش *k* میانگین ساده، صرفاً داده‌ها در ۸ خوشه قرار گرفته‌اند و از خوشه ۹ به بعد تا خوشه ۸، روند افزایشی بیشتر از ۰/۳ مواجه است.

داده‌ها و مرکز خوشه‌ها محاسبه می‌شود و داده‌هایی که بیشترین میانگین فاصله را از کل مرکز خوشه دارند به عنوان اولین عنصر خوشه جدید مطابق (۲) تعیین می‌شوند، و داده‌هایی که کمترین فاصله را از مرکز هر خوشه دارند به عنوان عضوی از آن خوشه در نظر گرفته می‌شوند.

$$b = \max \left\{ \frac{\sum_{k \geq ave \geq 1} dist(x, ave)}{k} \right\}_{p \geq x \geq 1} \quad (2)$$

که در آن *x* داده جدید است، *ave* میانگین داده‌های موجود در خوشه‌ها، *k* تعداد خوشه‌های بهینه و *p* تعداد داده‌های باقیمانده در مجموعه داده‌ها است. مرکز هر خوشه، پس از افزودن عناصر به آنها، مطابق با (۳) به روز می‌شود. برای دریافت خوشه *k* با حداقل یک عضو. سپس، با استفاده از (۴)، نزدیکترین داده به مرکز هر خوشه پیدا شده و به آن اضافه می‌شود:

$$a = \min \left\{ \frac{\sum_{k \geq ave \geq 1} dist(x, ave)}{k} \right\}_{p \geq x \geq 1} \quad (3)$$

$$c = \min \{ dist(x, a) \}_{x \in m(a)} \quad (4)$$

که در آن $m(a)$ عدد خوشه مورد نظر (*a*) در (۳) است و *x* عنصری از مجموعه داده‌ها است. بعد از اینکه همه عناصر مجموعه داده اصلی خوشه‌بندی شدند، میانگین هر خوشه نیز موجود است و می‌تواند به عنوان مرکز خوشه‌ها در *k* میانگین استفاده شود.

برای به دست آوردن تعداد خوشه در روش پیشنهادی، شناسایی نقاطی که در آنها یک جهش بزرگ در طول عمر مشتری مشتری ایجاد می‌شود، ضروری است. برای یافتن نقاط با یک پرش بزرگ، داده‌ها ابتدا از نظر طول عمر مشتری به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. سپس، مقدار فاصله اقلیدسی هر داده از داده‌های قبلی آن به ترتیب صعودی طول عمر مشتری به دست می‌آید.

۴-۴- ارزیابی

۴-۱- آمار توصیفی متغیرهای تحقیق

برای ارزیابی الگوریتم *k* میانگین در این تحقیق، از روی اطلاعات فروش ۱۳۲۲ بازاریاب استفاده شده است؛ که از ۷۵ نفر این افراد نظرسنجی در مورد میزان رضایت آنان از همکاری با شرکت‌های بازاریابی، صورت پذیرفته است. نتیجه این نظرسنجی تحت عنوان پارامتر M_2 استفاده شده است. جدول (۱) مجموعه داده‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. با طبقه‌بندی مشتریان در ۱۰ خوشه، دانش لازم از این خوشه‌ها باید استخراج شود تا خوشه‌ها، ارزیابی و تحلیل شوند. از آنجا که بازاریابان در یک خوشه از ویژگی‌های رفتاری مشابهی برخوردارند، دانش استخراج شده می‌تواند راهنمای خوبی برای اتخاذ استراتژی‌های بهینه متناسب با هر خوشه برای مدیریت بهتر روابط مشتری باشد.

۴-۲- بررسی طول عمر مشتری

مقدار انتخاب شده برای *Custmo* به تعداد سوابق موجود در مجموعه داده بستگی دارد. این متغیر باید عددی بین ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ باشد [۴].

جدول (۱): داده های مورد استفاده در آزمایش (با احتساب M2)

میانگین	Distance	CLV	M	F	R	L	M ₂	id
	0	0/388	0/014450618	0/139636364	0/01	0/224181818	0/000	91493295
0/002495	0/002495	0/391	0/034399852	0/122181818	0/01	0/224181818	0/000	91532794
0/001364	0/002728	0/391	0/037178989	0/104727273	0	0/249090909	0/000	91357635
0/001029	0/003087	0/391	0/012628859	0/104727273	0	0/274	0/000	91607842
0/000933	0/003732	0/392	0/053092157	0/139636364	0	0/199272727	0/000	91732934
0/000896	0/004482	0/393	0/066387202	0/052363636	0	0/274	0/000	91638719
0/00097	0/005821	0/394	0/02518098	0/139636364	0/03	0/199272727	0/000	91582741
0/000954	0/00668	0/395	0/078402874	0/122181818	0/02	0/174363636	0/000	91722254
0/000864	0/006912	0/395	0/073726335	0/122181818	0	0/199272727	0/000	91746476
0/000779	0/007014	0/395	0/028919224	0/122181818	0/02	0/224181818	0/000	91417752
0/000794	0/007942	0/396	0/02493784	0/122181818	0	0/249090909	0/000	91701381
0/001054	0/011599	0/400	0/018594896	0/122181818	0/01	0/249090909	0/000	91520394
0/001116	0/013393	0/402	0/147480363	0/104727273	0	0/149454545	0/000	91767664
0/001068	0/013883	0/402	0/03324273	0/139636364	0/03	0/199272727	0/000	91689041
0/001625	0/022752	0/411	0/082112004	0/069818182	0/01	0/249090909	0/000	91424376
0/001756	0/026335	0/415	0/025876877	0/139636364	0	0/249090909	0/000	91644570
0/001896	0/030332	0/419	0/102055029	0/122181818	0/02	0/174363636	0/000	91720654
0/002384	0/04053	0/429	0/027525764	0/157090909	0/02	0/224181818	0/000	91007783
0/002256	0/040603	0/429	0/015235158	0/139636364	0	0/274	0/000	91664278

جدول (۲): متوسط مقادیر L, R, F, M, M₂ و طول عمر مشتری در هر خوشه (روش پیشنهادی با احتساب M2)

شماره خوشه	L	R	F	M	M ₂	CLV
۱	0.180303	0.04097	0.104212	0.048414	0.166667	0.540565
۲	0.054225	0.08043	0.028609	0.016011	0.032864	0.21214
۳	0.160709	0.047914	0.084666	0.030971	0.20339	0.527649
۴	0.007419	0.004654	0.004511	0.010772	0	0.027355
۵	0.107386	0.065844	0.058481	0.020553	0.035714	0.287978
۶	0.025352	0.02174	0.014298	0.013749	0.010695	0.085836
۷	0.136631	0.05821	0.069497	0.02565	0.039216	0.329205
۸	0.043022	0.06414	0.021408	0.01467	0.018779	0.162019
۹	0.044263	0.042651	0.02303	0.016529	0.017778	0.14425
۱۰	0.105822	0.066288	0.055661	0.02355	0.044944	0.296265

جدول (۳): متوسط مقادیر L, R, F, M, M₂ و طول عمر مشتری در هر خوشه (روش k میانگین ساده با احتساب M2)

شماره خوشه	L	R	F	M	M ₂	CLV
۱	0.180303	0.04097	0.104212	0.048414	0.166667	0.540565
۲	0.059724	0.079007	0.03177	0.016167	0.036885	0.223554
۳	0.15427	0.050138	0.081967	0.029628	0.181818	0.497821
۴	0.012255	0.007985	0.007397	0.011569	0	0.039206
۵	0.106294	0.066286	0.055349	0.023131	0.021978	0.273037
۶	0.041183	0.035538	0.021756	0.016565	0.021277	0.136319
۷	0.13595	0.057873	0.070347	0.02697	0.060606	0.351747
۸	0.040336	0.063055	0.019993	0.014	0.015748	0.153133



۴-۴- مقایسه کیفیت خوشه

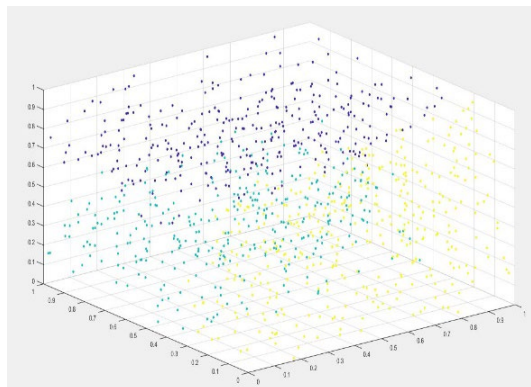
معیار خوشه‌بندی که در آزمون‌ها برای اندازه‌گیری کیفیت خوشه‌ها استفاده می‌شود به صورت زیر تعریف شده است [۱۵]:

$$J(x, y) = \sum_{i=1}^n \|x_i - \mu(x_i)\|^2 \quad (5)$$

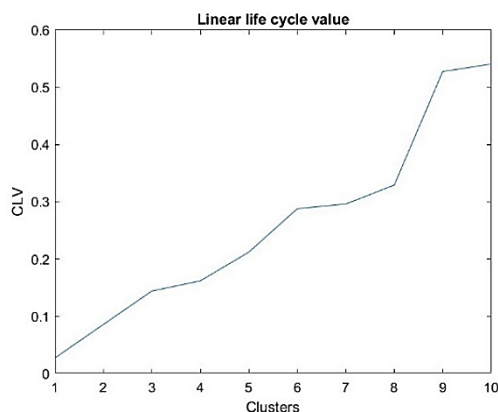
که در آن x_i نقطه داده نام است و $\mu(x_i)$ نزدیک‌ترین مرکز برای نقطه داده i را نشان می‌دهد. برای هر نقطه، مجذور فاصله بین نقطه و نزدیکترین مرکز آن محاسبه می‌شود و این مقدار برای تمام نقاط داده جمع می‌شود. این معیار که خطای خوشه‌بندی نیز نامیده می‌شود، روشی بسیار مؤثر برای اندازه‌گیری کیفیت خوشه‌بندی خانواده الگوریتم‌های خوشه‌بندی k میانگین است. هرچه مقدار معیار بیشتر باشد، کیفیت خوشه‌های تولید شده پایین تر است و بالعکس.

۴-۵- تجزیه و تحلیل نتایج خوشه‌بندی

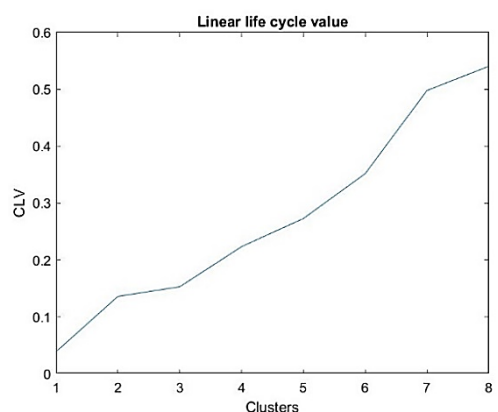
هدف از این تحقیق طبقه‌بندی بازاریابان بر اساس طول عمر مشتری آن‌ها با استفاده از ویژگی‌های M_2 LRFMM و روش بهبود یافته k میانگین است. همچنین، تجزیه و تحلیل خوشه‌ها به منظور ارزیابی دقیق‌تر ویژگی‌های مشتریان و تقسیم‌بندی نهایی مشتریان در قالب هرم طول عمر مشتری از موارد خاص مورد استفاده در این مطالعه برای جلب رضایت بازاریابان است. دو خوشه‌بندی متفاوت بر روی داده‌ها صورت گرفته است. خوشه‌بندی اول با در نظر گرفتن پارامتر M_2 (میزان رضایت بازاریابان) و خوشه‌بندی دوم بدون در نظر گرفتن M_2 صورت گرفته است. در خوشه‌بندی اول مشتریان در همه خوشه‌ها به غیر از خوشه‌های اول تا پنجم در این هرم از نظر ویژگی‌های L, R, F, M, M_2 در وضعیت مطلوبی قرار دارند. بنابراین، برای حفظ این مشتریان، به شرکت پیشنهاد می‌شود که از طریق برقراری ارتباط و تعامل با آن‌ها، رفتار وفاداری این مشتریان را به نمای وفاداری تبدیل کند. بر این اساس، مشتریان در خوشه‌های ۷ تا ۱۰ از نظر ویژگی‌های L, R, F, M, M_2 بهترین شرایط را دارند. در خوشه‌بندی دوم، داده‌ها به سه خوشه تقسیم شده‌اند. ماکزیم خوشه‌ها با توجه به تعداد دسته‌بندی تغییر می‌کند؛ ولی به طور کلی عدد بهینه در یک بازه محدود است. ماکزیم و نقطه اکسترمم یا ۳ یا ۴ یا ۵ است. شکل (۶)، خوشه‌بندی بازاریابان را نشان می‌دهد.



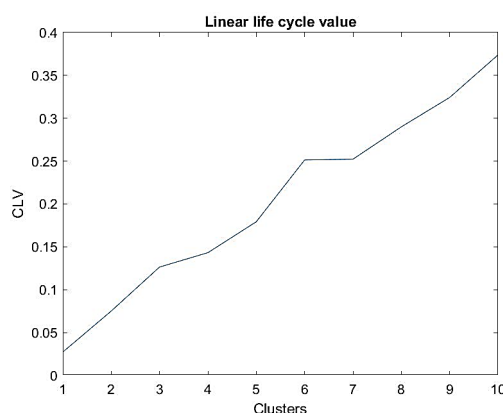
شکل (۶): خوشه بندی بازاریابان



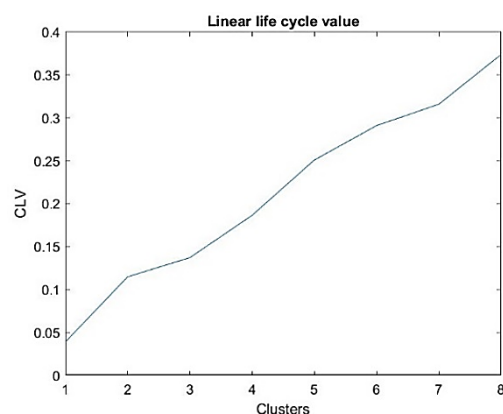
شکل (۲): روش پیشنهادی با احتساب M_2



شکل (۳): k میانگین کلاسیک با احتساب M_2



شکل (۴): روش پیشنهادی بدون M_2



شکل (۵): k میانگین کلاسیک بدون M_2

۴-۶- سرعت k میانگین بهبود یافته

در k میانگین بهبود یافته از شاخص دیویس بولدین^۱ استفاده شده است که این امکان را می‌دهد از ابتدا تعداد خوشه‌ها مشخص باشد و با توجه به داده‌ای که موجود است اندازه‌گیری بهتری بدهد و سرعت را افزایش دهد. چنانچه از روش دیویس بولدین استفاده نشود یک بار باید کل مجموعه را در نظر گرفت و دفعه بعد برای $k=2$ الگوریتم k میانگین اجرا می‌شود و به همین ترتیب تا $k=10$ بایستی محاسبه شود و در نهایت ۱۰ نتیجه با هم مقایسه شوند که کدامیک برای خوشه‌بندی است. ولی در روش دیویس بولدین تنها دو بار الگوریتم اجرا می‌شود؛ بنابراین محاسبات کاهش یافته و به تبع آن سرعت الگوریتم افزایش می‌یابد.

۴-۷- پیش‌بینی احتمال خرید کردن در ماه‌های آتی

در این تحقیق، خرید ۱۰ ماه بازاریابان در سال ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت. حال برای پیش‌بینی وفاداری بازاریابان، آخرین ماه خرید در نظر گرفته نمی‌شود و مجدد پارامترهای F, R, M, I محاسبه می‌شوند. سپس روش دیویس بولدین بر روی آن انجام می‌پذیرد تا تعداد بهینه‌ی خوشه‌ها مشخص گردد. حال خوشه‌بندی مشخص می‌کند که مشتریان وفادار با کدام ID ها هستند. سپس بررسی شده که آیا در ماه آخر، فرد خرید داشته است یا خیر. از تعداد ۱۰۶۹ بازاریابی که در ۹ ماه اول سال ۱۳۹۶ خرید انجام داده‌اند؛ تعداد ۱۵۵ نفر از آنها در دی ماه نیز خرید کرده‌اند؛ که نشان می‌دهد ۱۴.۵ درصد از بازاریابان قبلی تمایل به خرید مجدد در ماه آتی داشته‌اند و این بیانگر وضعیت نه چندان مطلوب وفاداری بازاریابان قدیمی نسبت به شرکت می‌باشد.

۴-۸- معیار اطلاعات متقابل نرمالیزه

یکی از راه‌های سنجش دقت تشخیص روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی با آزمایش بر روی داده‌های مختلف به‌کارگیری معیار اطلاعات متقابل نرمالیزه^۲ می‌باشد [16]. فرم کلی این معیار در (۶) آورده شده و در ادامه به شرح جزئیات آن پرداخته می‌شود.

$$NMI = \frac{2 \sum_i \sum_j n_{ij} \log \frac{n_{ij}n}{b_i d_j}}{-\sum_i b_i \log \frac{b_i}{n} - \sum_j d_j \log \frac{d_j}{n}} \quad (6)$$

که در آن، عبارت صورت نشان‌دهنده اطلاعات متقابل و عبارت مخرج نشان‌دهنده آنتروپی می‌باشد. جدول سازگاری از سنجش شباهت میان نتیجه تشخیص و بخش درستی از هر خوشه موجود به دست می‌آید؛ بدین صورت که یک مجموعه خوشه V با n گره و دو بخش $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ (نتیجه تشخیص) و $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i\}$ (بخش درستی یا صحت) در نظر گرفته شده و همپوشانی‌های بین دو بخش C و P در جدول امکان است. جدول (۴) یافته‌های حاصل از معیار NMI بر روی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. جدول (۵)، یافته‌های معیار مجموع مربعات خطا^۳ را نشان می‌دهد که حاکی از بهبود روش

پیشنهادی در مقایسه با روش k میانگین کلاسیک از نظر ملاحظه و عدم ملاحظه M_2 است. همچنین روش پیشنهادی با روش مطرح شده در [۴] مقایسه شده است.

برای نشان دادن میزان شباهت بین دو روش خوشه‌بندی با روش-های دیگر داده‌کاوی می‌توان از "شاخص رند متعادل شده" [18] بهره گرفت. برای محاسبه آن باید دو پارامتر را اندازه‌گیری کنیم:

- A: تعداد جفت عبارت‌هایی که در خوشه‌ها و در واقعیت کنار هم هستند. به بیان دیگر هم در خوشه‌ها دارای برچسب یکسان هستند و هم برچسب در واقعیت (داده‌های واقعی) تطبیق دارد.
- B: تعداد جفت‌هایی است که هم در خوشه‌ها و هم در داده واقعی از یکدیگر مجزا می‌باشند. یعنی برچسب نمونه داده-های در خوشه‌های آن‌ها متفاوت است و همچنین برچسب داده‌های واقعی آن‌ها نیز با یکدیگر فرق دارد.

جدول (۶) یافته‌های حاصل از شاخص رند تعدیل یافته را نشان می‌دهد در این حالت، روش پیشنهادی در حالت در نظر گرفتن معیار M_2 ، بهترین عملکرد را نسبت به تمامی روش‌های دیگر حاصل نموده است و اما از نظر مقایسه میان روش پیشنهادی از دید احتساب و عدم احتساب M_2 ، اولویت با روش پیشنهادی با احتساب M_2 است و از نظر مقایسه میان روش k میانگین کلاسیک از دید احتساب و عدم احتساب M_2 ، برتری با روش k میانگین با احتساب M_2 است.

جدول (۴): دقت NMI - مقایسه روش پیشنهادی

روش	معیار NMI
روش پیشنهادی با احتساب M_2	۰/۹۷۸۵
روش پیشنهادی بدون احتساب M_2	۰/۸۹۹۹

جدول (۵): یافته‌های SSE

روش	معیار SSE
روش پیشنهادی با احتساب M_2	۰/۰۷
روش پیشنهادی بدون احتساب M_2	۰/۰۲
روش پیشنهادی [۴] بر روی دیتاست ۱	۰/۳۹
روش پیشنهادی [۴] بر روی دیتاست ۲	۰/۷۲

جدول (۶): شاخص رند تعدیل یافته

روش	شاخص رند تعدیل یافته
روش پیشنهادی با احتساب M_2	۰/۹۵۲۱
روش پیشنهادی بدون احتساب M_2	۰/۸۶۵۲

³ Sum of squared errors (SSE)

¹ Davies-Bouldin index

² Normalized Mutual Information (NMI)



۵- نتیجه‌گیری

هدف اصلی تحقیق، استفاده از الگوریتم k میانگین و یافتن میزان طول عمر مشتری با استفاده از پارامترهایی از جمله فاصله بین اولین و آخرین خرید بازاریاب به عنوان ویژگی L ، فاصله بین آخرین خرید مشتری و پایان دوره زمانی به عنوان ویژگی R ، تعداد ماه‌های خرید مشتری در بازه زمانی مشخص به عنوان ویژگی F ، ارزش کل پولی بین اولین و آخرین خرید مشتری در یک بازه زمانی خاص به عنوان ویژگی M و میزان رضایت بازاریابان به عنوان ویژگی $M2$ است. برای یافتن نقاط با یک پرش بزرگ، داده‌ها ابتدا از نظر طول عمر مشتری به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. سپس، مقدار فاصله اقلیدسی هر داده از داده‌های قبلی به ترتیب صعودی طول عمر مشتری به دست می‌آید. فاصله بین برخی داده‌ها و مرکز خوشه اول و مقادیر مراکز بهینه به دست آمده محاسبه می‌شود. پس از آن، این مراحل برای به دست آوردن تمام مراکز خوشه‌ای تکرار می‌شوند. با استفاده از معادلات، تعداد بهینه خوشه‌ها ۱۰ محاسبه شده است. هرچه که میزان رضایت بازاریابان کمتر باشد، متغیر طول عمر مشتری نیز کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی تعداد خوشه‌ها را به درستی شناسایی کرده است؛ اما این کار در زمان کوتاه‌تری انجام شده است.

مراجع

- Medoid Algorithm," 2012 International Conference on Communication Systems and Network Technologies, Rajkot, pp. 435-437, May, 2012, doi: 10.1109/CSNT.2012.100.
- [9] Y. S. Cho and S. C. Moon, "Weighted Mining Frequent Pattern based Customer's RFM Score for Personalized u-Commerce Recommendation System," Journal of Convergence, vol. 4, no. 4, pp. 36-40, Dec. 2013.
- [10] X. He and C. Li, "The Research and Application of Customer Segmentation on E-Commerce Websites," 2016 6th International Conference on Digital Home (ICDH), Guangzhou, China, 2016, pp. 203-208, doi: 10.1109/ICDH.2016.050.
- [11] L. Zahrotun, "Implementation of data mining technique for customer relationship management (CRM) on online shop tokodipers.com with fuzzy c-means clustering," 2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), Yogyakarta, Indonesia, pp. 299-303, Nov. 2017, doi: 10.1109/ICITISEE.2017.8285515.
- [12] J. Hu, M. Li, E. Zhu, S. Wang, X. Liu and Y. Zhai, "Consensus Multiple Kernel K-Means Clustering With Late Fusion Alignment and Matrix-Induced Regularization," in IEEE Access, vol. 7, pp. 136322-136331, Sep. 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2940896.
- [13] F. Khanizadeh, F. Khamesian, and A. Bahiraie, "Customer Segmentation for Life Insurance in Iran Using K-means Clustering," International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, vol. 12, pp. 633-642, Jan. 2021, doi: 10.22075/IJNAA.2021.22324.2350.
- [14] P. Anitha, P. Anitha, and M. M. Patil, "RFM model for customer purchase behavior using K-Means algorithm," Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.JKSUCI.2019.12.011.
- [15] J. Wang and X. Su, "An improved K-Means clustering algorithm," 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, Xi'an, China, May. 2011, pp. 44-46, doi: 10.1109/ICCSN.2011.6014384.
- [16] L. Danon, A. Díaz-Guilera, J. Duch, and A. Arenas, "Comparing community structure identification," Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, vol. 2005, no. 09, p. 09008, Sep. 2005, doi: 10.1088/1742-5468/2005/09/P09008.
- [17] A. Amelio and C. Pizzuti, "Is Normalized Mutual Information a Fair Measure for Comparing Community Detection Methods?," in Proceedings of the 2015 IEEE/ACM international conference on advances in social networks analysis and mining, pp. 1584-1585, Aug. 2015, doi: https://doi.org/10.1145/2808797.2809344.
- [18] W. M. Rand, "Objective Criteria for the Evaluation of Clustering Methods," Journal of the American Statistical Association, vol. 66, no. 336, pp. 846-850, Dec. 1971, doi: 10.1080/01621459.1971.10482356.
- [1] A. Alizadeh Zoeram and A. R. Karimi Mazidi, "New Approach for Customer Clustering by Integrating the LRFM Model and Fuzzy Inference System," Iranian Journal of Management Studies, vol. 11, no. 2, pp. 351-378, Apr. 2018, doi: 10.22059/IJMS.2018.242528.672839.
- [2] B. I. Nugroho, A. Raffhina, P. S. Ananda, and G. Gunawan, "Customer segmentation in sales transaction data using k-means clustering algorithm," Journal of Intelligent Decision Support System, vol. 7, no. 2, pp. 130-136, Jun. 2024, doi: 10.35335/idss.v7i2.236.
- [3] M. Sarkar, A. Roy Puja, and F. R. Chowdhury, "Optimizing Marketing Strategies with RFM Method and K-Means Clustering-Based AI Customer Segmentation Analysis," Journal of business and management studies, Mar. 2024, doi: 10.32996/jbms.2024.6.2.5.
- [4] H. Zare and S. Emadi, "Determination of Customer Satisfaction using Improved K-means algorithm," vol. 24, no. 22, pp. 16947-16965, May 2020, doi: 10.1007/S00500-020-04988-4.
- [5] M. Farhan and J. Heikal, "Used Car Customer Segmentation Using K-Means Clustering Model With SPSS Program: Case Study Caroline.Id," Jurnal Indonesia Sosial Sains, Mar. 2024, doi: 10.59141/jiss.v5i03.1042.
- [6] A. Rachwal et al., "Determining the Quality of a Dataset in Clustering Terms," Applied Sciences, vol. 13, no. 5, p. 2942, Feb. 2023, doi: 10.3390/app13052942.
- [7] T. Jiang and A. Tuzhilin, "Improving Personalization Solutions through Optimal Segmentation of Customer Bases," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 21, no. 3, pp. 305-320, Mar. 2009, doi: 10.1109/TKDE.2008.163.
- [8] S. Shah and M. Singh, "Comparison of a Time Efficient Modified K-mean Algorithm with K-Mean and K-



Islamic Azad University , Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iau.ir/journal/jcda



Investigating and analysis of the impact of service quality and trust on customer loyalty in e-commerce

Alinaghi Rezaie¹, Saman Foroutani², Mohsen Katebi Jahromi^{3*}, Alireza Katebi Jahromi⁴

¹ Department of Management and Information Systems, Safashahr Branch, Islamic Azad University, Safashahr, Iran
anr120570@gmail.com

² Department of Management and Information Systems, Safashahr Branch, Islamic Azad University, Safashahr, Iran
saman-foroutani@hotmail.com

³ Department of Electrical Engineering, Safashahr Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
moh_katebi_jah@yahoo.com

⁴ Shahid Dastgheib High School of Exceptional Talents 2 (Noushad), Shiraz, Iran
alireza.katebi2285@gmail.com

Abstract: In today's competitive world, online businesses are looking for a suitable way to increase customer loyalty. However, the simultaneous effect of three variables - service quality, trust and customer satisfaction - on customer loyalty in an online retail environment has been less investigated in the conducted researches. According to the literature and background of the research, research hypotheses have been determined and a suitable conceptual model has been created. Since the research method is quantitative-survey, a questionnaire was designed based on the research hypotheses. Finally, the obtained data have been analyzed using descriptive criteria and structural equation modeling. According to the results of hypothesis (H1), the quality of electronic services has a positive and significant effect on electronic satisfaction. The results of the second hypothesis (H2), display that e-trust has a positive effect on e-satisfaction. Hypothesis (H3), the e-trust variable has a significant effect on e-loyalty, statistically, H3 is accepted. According to the results it can be concluded that electronic satisfaction variable has a significant effect on electronic loyalty, statistically, H4 is accepted. Electronic service quality through electronic satisfaction as a mediating variable affects electronic loyalty. It is positive and significant, therefore statistically, H5 is accepted.

Keywords: Service quality, Customer trust, Customer loyalty, Electronic commerce, Customer satisfaction

JCDSA, Vol. 2, No. 5, Spring 2024
Received: 2024-06-17

Online ISSN: 2981-1295
Accepted: 2024-09-08

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcda>
Published: 2024-09-20

CITATION

Rezaie, A., et. al., " Investigating and analysis of the impact of service quality and trust on customer loyalty in e-commerce ", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 2, No. 6, pp. 30-38, 2024.

DOI: 00.00000/0000

COPYRIGHTS



©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

* Corresponding author

Extended Abstract

1- Introduction

In the 21st century, the development of e-commerce and competition in the market has intensified. The traditional marketing pattern in society has undergone profound changes and e-commerce has become one of the most important shopping methods in our daily lives. But due to the specificity of the online shopping environment and various existing problems, it becomes more difficult to create customer loyalty. In terms of increasing customer loyalty, e-commerce should be able to provide customer trust in good service quality with promotion as support. Also, the competitive effect that occurs between e-commerce businesses is the extent to which consumers are loyal to a product or service. Customer loyalty is very important for the company to maintain business continuity and continuity of its business activities. Loyal customers are customers who are satisfied with the products and services offered by the company, so they tend to promote them to everyone they know. As a result, the explanation of how the variables of service quality, trust and customer satisfaction affect customer loyalty simultaneously in an online shopping environment is still not well understood. Therefore, this research will be done with the aim of evaluating the relationship between these three variables on customer loyalty, both direct and indirect effects.

2- Methodology

To achieve the objectives, this research uses primary and secondary data. After reviewing the research literature and deriving the proposed model based on the research hypotheses, the questionnaire was designed based on the hypotheses and distributed among the online customers of the site. The condition for filling out the questionnaire is that the user has made at least one online transaction in the last two months from the desired site. In the next step, the research method is a quantitative survey and the data collected from the online questionnaire is analyzed using the research method and statistical analysis. The collected data is analyzed using the SEM-PLS (structural equation modeling-partial least squares) technique in WarpPls 6.0 software, and hypotheses are analyzed based on the results.

3- Results and discussion

Based on the results, it is determined that T-Value=6.350. The original sample value is 0.726 (positive). This explains that H1 is supported, that is, e-service quality has a positive and significant effect

on e-satisfaction. Therefore, it can be concluded that the e-service quality variable has a significant effect on e-satisfaction, statistically H1 is accepted.

According to the results, it is clear that T-Value=4.703. The original sample value is 0.387 (positive). This explains that H2 is supported, that is, e-trust has a positive effect on e-satisfaction. Therefore, it can be concluded that electronic trust variable has a significant effect on electronic satisfaction, statistically H2 is accepted. As shown in the results, T-Value=4.120. The original sample value is 0.688 (positive). This explains that H3 is supported, that is, e-trust has a positive and significant effect on e-loyalty. Therefore, it can be concluded that electronic trust variable has a significant effect on electronic loyalty, statistically H3 is accepted. According to the results, T-Value=3.387. The original sample value is 0.2040 (positive). This explains that H4 is supported, that is, e-satisfaction has a positive and significant effect on e-loyalty. Therefore, it can be concluded that electronic satisfaction variable has a significant effect on electronic loyalty, statistically H4 is accepted. Based on the results, it is determined that the value of T-Value=4.261. The original sample value is 0.392 (positive). This explains that H5 is supported, that is, e-service quality has a positive and significant effect on e-loyalty through e-satisfaction as a mediating variable. Therefore, statistically, H5 is accepted. The results of this study are consistent with previous research [10, 25, 26], which showed that the quality of e-services has a significant effect on e-loyalty through e-satisfaction. In addition, [27] showed that e-service quality has an effect on e-loyalty through e-satisfaction.

4- Conclusion

According to the obtained results, electronic satisfaction has an effect on customer loyalty. E-service quality has a positive and significant effect on e-loyalty through e-satisfaction as a mediating variable. Customer experience of trust has an important influence on customer loyalty through e-satisfaction. However, the mediating effect of e-satisfaction is known to be partially mediated. In this regard, the purpose of this article was to analyze the impact of service quality on customer trust and loyalty with the mediating role of electronic satisfaction among Mbit site users. According to the literature, research hypotheses were developed and based on that, the proposed model was designed. Since the research method was quantitative-survey, a questionnaire based on hypotheses was designed and provided to e-commerce users.





بررسی و تحلیل تاثیر کیفیت خدمات و اعتماد بر وفاداری مشتریان در تجارت الکترونیکی

علی نقی رضائی^۱، سامان فروتنی^۱، محسن کاتبی جهرمی^{۳*}، علیرضا کاتبی جهرمی^۴

۱- گروه مدیریت و فناوری اطلاعات، واحد صفاشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، صفاشهر، ایران (anr120570@gmail.com)

۲- گروه مدیریت و فناوری اطلاعات، واحد صفاشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، صفاشهر، ایران (saman-foroutani@hotmail.com)

۳- گروه مهندسی برق، واحد صفاشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، صفاشهر، ایران (moh_katebi_jah@yahoo.com)

۴- دبیرستان استعدادهای درخشان دستغیب ۲ (نوشاد)، شیراز، ایران (alireza.katebi2285@gmail.com)

چکیده: در دنیای رقابتی امروزی کسب و کارهای آنلاین به دنبال روشی مناسب جهت افزایش وفاداری مشتری هستند. اما، تاثیر همزمان سه متغیر کیفیت خدمات، اعتماد و رضایت مشتری بر وفاداری مشتری در محیط خرده فروشی آنلاین در تحقیقات، کمتر بررسی شده است. با توجه به پیشینه تحقیق، فرضیه های تحقیق مشخص شده و مدل مفهومی مناسب ایجاد شده است. از آنجایی که روش تحقیق کمی- پیمایشی است، پرسشنامه ای براساس فرضیه های تحقیق طراحی گردیده است. در نهایت، داده های به دست آمده با استفاده از معیارهای توصیفی و مدلسازی معادلات ساختاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به نتایج فرضیه H1 یعنی کیفیت خدمات الکترونیکی تأثیر مثبت بر رضایت الکترونیکی دارد. نتایج فرضیه دوم نشان می دهد که H2 یعنی اعتماد الکترونیکی، تأثیر مثبتی بر رضایت الکترونیکی دارد. فرضیه H3 متغیر اعتماد الکترونیکی، تأثیر معناداری بر وفاداری الکترونیکی دارد و از نظر آماری H3 پذیرفته شده است. همچنین، با توجه به نتایج می توان نتیجه گرفت که متغیر رضایت الکترونیکی تاثیر مهمی بر وفاداری الکترونیکی دارد و از نظر آماری H4 پذیرفته شده است. کیفیت خدمات الکترونیکی از طریق رضایت الکترونیکی به عنوان متغیر میانجی بر وفاداری الکترونیکی تأثیر مثبت و معناداری دارد بنابراین از نظر آماری H5 پذیرفته شده است.

واژه های کلیدی: کیفیت خدمات، اعتماد مشتری، وفاداری مشتری، تجارت الکترونیک، رضایت مشتری

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۸

راحتی را برای مردم به ارمغان بیاورد. کاربران فقط می توانند در خانه بمانند و از تلفن همراه خود برای دیدن انواع کالاها و مشخصات آنها استفاده کنند و سپس هزینه سفارشات را پرداخت و منتظر تحویل کالا به درب منزل خود باشند [۵]. علاوه بر این، کسب و کارها نیز شروع به تکیه بر شبکه برای تبلیغ یا فروش کرده اند تا مزیت رقابتی خاصی ایجاد کنند. با این حال، وانگ و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۶ اشاره کردند که مانع ورود صنعت خرید آنلاین بسیار کم است؛ به این معنی که رقابت درون صنعتی نسبتاً بزرگی در صنعت خرید آنلاین وجود خواهد داشت. از دیدگاه مشتریان، هزینه جابجایی از یک فروشگاه به فروشگاه دیگر در خرید آنلاین نیز بسیار پایین است، به این معنی که مشتریان انتخاب های متنوعی جهت خرید اینترنتی خواهند داشت.

وفاداری الکترونیکی نشان دهنده تمایل مصرف کننده برای خرید محصولات یا خدمات از یک وبسایت خاص است؛ در حالی که مصرف کننده بعید است از وبسایت های دیگر خرید کند. وفاداری آنلاین به راحتی، قیمت محصولات یا خدمات، حریم خصوصی، ارائه محصول، کیفیت پشتیبانی مشتری و شایستگی از نظر انجام تعهدات تحویل مرتبط است. در هر دو زمینه خرید آنلاین و آفلاین، جذب

۱- مقدمه

پیشرفت فناوری، کامپیوتر و مخابرات از توسعه اینترنت حمایت کرده است. اینترنت تأثیر زیادی بر علم و جهان بینی در مورد بسیاری از چیزها دارد. همچنین اینترنت تغییرات زیادی را در دنیای تجارت ایجاد کرده است [۱]. امروزه می توان از اینترنت به عنوان یک ابزار بازاریابی برای ایجاد معاملات استفاده کرد. علاوه بر این، اینترنت از سایر فعالیت های تجاری مانند ارائه اطلاعات ارزشمند و کمک به نفوذ به بازار جهانی پشتیبانی می کند [۲]. بررسی و مطالعه داده های به دست آمده از سالیته ها و کاربرهای خرید اینترنتی به عنوان یک راهکار مناسب جهت بهبود کیفیت این نوع سرویس ها تلقی می شود. بر اساس گزارش انجمن ارائه دهندگان خدمات اینترنتی ۲۰۱۹-۲۰۲۰، وبسایت های تجارت الکترونیک برای عموم شناخته شده اند و سهم عمده ای در معاملات دارند [۳ و ۴]. توسعه فناوری اطلاعات بر توسعه صنعت خرده فروشی تأثیر گذاشته است. در مقایسه با خرید در فروشگاه های فیزیکی، مشتریان تمایل بیشتری به خرید آنلاین دارند، زیرا می توانند



محیط فروشگاه‌های آنلاین تأثیر می‌گذارند، هنوز به خوبی شناخته نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی رابطه بین این سه متغیر بر وفاداری مشتریان، چه تأثیر مستقیم و چه غیرمستقیم انجام خواهد شد. مسئله بیان چگونگی تأثیر سه متغیر کیفیت خدمات، اعتماد و رضایت مشتری بر وفاداری مشتری به طور همزمان در یک محیط خرده‌فروشی آنلاین در این مقاله ارزیابی شده است. در کارهای انجام شده در این زمینه تأثیر این سه متغیر بر وفاداری مشتریان به شکل همزمان گزارش نگردیده است.

۲- مرور بر کارهای گذشته، ارائه فرضیه‌های

تحقیق و مدل پیشنهادی

در این بخش در ابتدا مروری بر کارهای گذشته ارائه می‌گردد و سپس به ارائه فرضیه‌های تحقیق پرداخته می‌شود. هدف از [۱۰] این است که روشن شود آیا بین چهار عامل کلیدی: کیفیت خدمات الکترونیکی، رضایت مشتری الکترونیکی اعتماد الکترونیکی و نیت رفتاری، در موفقیت کسب و کار الکترونیکی رابطه وجود دارد یا خیر. روش این پژوهش برای ارزیابی و آزمون مقیاس و مدل نظری در پژوهش، تحقیق کمی با حجم نمونه $N=476$ از طریق پیمایش جهت تحویل مستقیم پرسشنامه به آزمودنی‌ها می‌باشد. این مطالعه تأثیر غیرمستقیم و مثبت جدید کیفیت خدمات الکترونیکی را بر نیت رفتاری از طریق واسطه‌های اعتماد الکترونیکی و رضایت مشتری الکترونیکی و همچنین سایر روابط فرعی کشف کرده که می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای تحقیقات آتی مورد استفاده قرار گیرد. هدف [۱۲] تحلیل تأثیر کیفیت خدمات آنلاین وبسایت‌های تجارت الکترونیک بر رضایت مشتری و قصد خرید است. این مطالعه ابعاد کیفیت خدمات الکترونیکی را بر اساس بررسی ادبیات شناسایی می‌کند که عبارتند از طراحی وبسایت، قابلیت اطمینان، پاسخگویی، اعتماد و شخصی‌سازی. نظرسنجی از ۲۷۸ کاربر مشتاق سه وبسایت محبوب برای اعتبارسنجی مدل انجام شد. پایایی و روایی پرسشنامه از طریق مدل اندازه‌گیری بررسی شد و برای تأیید رابطه بین ابعاد از مدل معادلات ساختاری استفاده شد. نتیجه نشان می‌دهد که اعتماد تنها بعد کیفیت خدمات الکترونیکی است که به طور قابل توجهی بر کیفیت کلی خدمات تأثیر می‌گذارد. رابطه بین کیفیت کلی خدمات الکترونیکی و رضایت مشتری و همچنین رضایت مشتری و قصد خرید از نظر آماری معنادار بود. هدف [۱۳] تعیین چگونگی تأثیر تبلیغات شفاهی الکترونیکی، درک کیفیت خدمات و سودمندی درک شده بر تعهد مشتری علی‌بابا است. جامعه مورد استفاده در این مطالعه کاربران علی‌بابا بودند. در این پژوهش از ۱۰۰ نفر به عنوان نمونه تحقیق استفاده شده است. داده‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل رگرسیون خطی چندگانه تجزیه و تحلیل خواهند شد. نتایج نشان می‌دهد که تبلیغات شفاهی الکترونیکی، درک کیفیت خدمات و ادراک قیمت می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تعهد مشتری علی‌بابا داشته باشد. هدف از [۱۴] تعیین تأثیر کیفیت خدمات، ارتقاء و اعتماد بر وفاداری مشتری از مشتریان

مشتری به عنوان فرآیندی با هزینه بالا در نظر گرفته می‌شود. کیفیت خدمات الکترونیکی به میزانی است که یک وبسایت به طور کارآمد و موثر خرید و ارائه محصولات یا خدمات را تسهیل می‌کند. کیفیت خدمات الکترونیکی به عنوان گسترش توانایی یک سایت برای تسهیل موثر و کارآمد فعالیت‌های خرید و توزیع تعریف می‌شود [۹]. در همین حال، کیفیت خدمات الکترونیکی متفاوت از سیستم‌های خدمات سنتی است. آنچه ارائه می‌شود سهولت در دریافت اطلاعات بین مصرف‌کنندگان و ارائه‌دهندگان خدمات مبتنی بر خدمات الکترونیک است. علی‌رغم فواید بسیار زیاد تجارت الکترونیک خدمات خرید اینترنتی دارای مشکلاتی از جمله اختلال سرور، پشتیبان‌گیری از اطلاعات و مشکلات اتصال می‌باشد که بر کیفیت سرویس‌های ارائه شده اثرگذار است [۱۰]. کیفیت خدمات الکترونیکی را می‌توان به عنوان میزانی تعریف کرد که یک سایت می‌تواند خرید و فروش موثر و کارآمد و تحویل کالا را تسهیل کند [۹]. بر اساس تحقیقات، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت خدمات الکترونیکی توانایی یک شرکت در پاسخگویی و تسهیل خدمات به مصرف‌کنندگان به صورت مجازی است تا بتواند نیازهای خدمات مورد نظر مصرف‌کنندگان را برآورده کند.

رضایت مشتری برای پایداری همه مشاغل حیاتی است. رضایت الکترونیکی توسط اندرسون و سرینیواسان [۸] به عنوان رضایت مشتری با توجه به تجربه خرید قبلی او با یک شرکت تجارت الکترونیک معین نامیده می‌شود. رضایت مشتری نشان‌دهنده میزان برآورده شدن انتظارات مشتریان در رابطه با یک محصول یا خدمت است که می‌تواند به عنوان نشان‌دهنده سازگاری بین عملکرد مورد انتظار و واقعی با توجه به محصول یا خدمت خریداری شده عمل کند [۱۱]. از طرفی اعتماد تأثیر ویژه‌ای در تجارت الکترونیکی دارد؛ بنابراین، اعتماد الکترونیکی به عنوان درجه اعتماد مشتریان به مبادلات آنلاین یا کانال مبادلات آنلاین در نظر گرفته می‌شود. ایجاد اعتماد الکترونیکی می‌تواند به طور قابل توجهی درک ریسک مربوط به استفاده از یک سرویس یا انجام یک مبادله را کاهش دهد [۷]. در قرن بیست و یکم، توسعه تجارت الکترونیک و رقابت در بازار تشدید شده است. الگوی بازاریابی سنتی در جامعه دستخوش تغییرات عمیقی شده و تجارت الکترونیک به یکی از مهم‌ترین روش‌های خرید در زندگی روزمره ما تبدیل شده است. اما به دلیل خاص بودن محیط خرید آنلاین و مشکلات مختلف موجود، ایجاد وفاداری مشتری دشوارتر می‌شود. از نظر افزایش وفاداری مشتری، تجارت الکترونیک باید بتواند اعتماد مشتری را از کیفیت خدمات خوب با ارتقاء به عنوان پشتیبان تأمین کند. همچنین تأثیر رقابتی که بین مشاغل تجارت الکترونیکی رخ می‌دهد، میزان وفاداری مصرف‌کنندگان به یک محصول یا خدمات است. وفاداری مشتری برای شرکت برای حفظ تداوم کسب و کار و تداوم فعالیت‌های تجاری خود بسیار مهم است. مشتریان وفادار مشتریانی هستند که از محصولات و خدمات ارائه شده توسط شرکت راضی هستند؛ بنابراین تمایل دارند آنها را به هر کسی که می‌شناسند تبلیغ کنند. در نتیجه توضیح اینکه چگونه متغیرهای کیفیت خدمات، اعتماد و رضایت مشتری بر وفاداری مشتری به طور همزمان در یک

تجارت الکترونیک است. برای روشن شدن رابطه بین این سازه‌ها، مدل-سازی معادلات ساختاری برای بررسی برازش مدل و پنج فرضیه انجام می‌شود. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که چهار فرضیه از پنج فرضیه مطرح شده پذیرفته شده است. ترفیع تأثیر معناداری بر وفاداری مشتری ندارد؛ اما ارتقاء از طریق متغیر اعتماد تأثیر قابل توجهی بر وفاداری مشتری خواهد داشت.

۱-۲-۱- فرضیه‌های تحقیق

رابطه بین کیفیت و رضایت خدمات الکترونیکی مبتنی بر خدماتی است که با استفاده از اینترنت به مصرف‌کنندگان ارائه می‌شود. خدمات مبتنی بر اینترنت باعث می‌شود مشتریان در انجام تراکنش‌ها از نظر زمان و هزینه احساس کارآمدی بیشتری داشته باشند. کیفیت خدمات عالی، اساس رضایت مشتری است. ما معمولاً یک رابطه مثبت بین کیفیت خدمات، رضایت و وفاداری پیدا می‌کنیم. بنابراین، کیفیت خدمات الکترونیکی ارائه شده توسط شرکت، بر رضایت مشتری تأثیرگذار است. برای کسب و کارهای آنلاین، مؤلفه کیفیت خدمات الکترونیکی باید ایجاد شود تا رضایت مشتری آنلاین (رضایت الکترونیکی) شکل بگیرد [۱۵]. بر اساس تحقیقات [۱۶] در سایت فروشگاه آنلاین، کیفیت خدمات الکترونیکی بر رضایت الکترونیکی تأثیر می‌گذارد. این رابطه اثر مثبت داشت و کیفیت خدمات الکترونیکی خوب تأثیر معناداری بر رضایت الکترونیکی و اعتماد الکترونیکی نسبت به رضایت الکترونیکی داشت. این مطابق با تحقیقات انجام شده در [۱۱] است که نشان‌دهنده رابطه مثبت بین کیفیت خدمات الکترونیکی و رضایت الکترونیکی است. نتایج تحقیقات [۱۶] نشان داده که کیفیت خدمات الکترونیکی تأثیر قابل توجهی بر رضایت الکترونیکی دارد. بر همین اساس فرضیه اول به شرح زیر مطرح می‌گردد:

۱-۲-۱-۱- "کیفیت خدمات الکترونیکی بر رضایت الکترونیکی تأثیر معناداری دارد."

رابطه بین اعتماد الکترونیکی و رضایت الکترونیکی مصرف‌کننده به دلیل اعتماد بالای مشتریان به شرکت، ابزار بسیار قدرتمندی در ایجاد روابط است که باعث می‌شود شرکت در تقویت روابط با گروه ذینفعان خود قوی باشد. با توجه به آنکه مصرف‌کنندگان نمی‌توانند محصولات واقعی ارائه شده (مگر از طریق تصاویر را) ببینند یا لمس کنند، اعتماد مصرف‌کننده همیشه نقش مهمی در حفظ روابط تجاری دارد، به‌ویژه در تقاضای کسب و کارهای تجارت الکترونیکی که مصرف‌کنندگان قبل از دریافت سفارشات پرداخت می‌کنند. در مطالعه‌ای که در [۱۷] انجام شد، تصدیق شد که اعتماد الکترونیکی به طور مستقیم و مثبت بر رضایت الکترونیکی تأثیر می‌گذارد. اعتماد الکترونیکی کاربران اینترنت بسیار وابسته به کیفیت خدمات الکترونیکی ارائه شده است و این اعتماد به سطح امنیت در هنگام انجام تراکنش‌ها بستگی دارد. مصرف‌کنندگان آنلاین تمایل دارند که فروشنده به نفع مصرف‌کنندگان واکنش نشان دهد، صداقت در معاملات را حفظ کند، بتواند کالاها یا خدمات را طبق

وعده داده شده ارائه دهد، و خدمات الکترونیکی خوبی را ارائه دهد تا در انجام معاملات راحت باشند [۱۸]. بر اساس نتایج تحقیقات [۱۹]، کیفیت خدمات الکترونیکی تأثیر معنادار، قوی و مثبتی بر اعتماد الکترونیکی کاربران اپلیکیشن موبایل دارد. این مطابق با تحقیقاتی است که [۲۰] در مورد خرده‌فروشی آنلاین انجام شده که کیفیت خدمات الکترونیکی تأثیر قابل توجهی بر اعتماد الکترونیکی در خرده‌فروشی آنلاین دارد. بر همین اساس فرضیه دوم به شرح زیر مطرح می‌گردد:

۱-۲-۱-۲- "اعتماد الکترونیکی تأثیر مثبتی بر رضایت الکترونیکی دارد."

هنگامیکه مشتریان اعتماد یک فروشگاه آنلاین را احساس می‌کنند، هنگام خرید از فروشگاه احساس راحتی و اطمینان خواهند کرد و مشتری به خرید از همان سایت ادامه خواهد داد که باعث وفاداری بیشتر می‌شود. اعتماد باعث کاهش عدم اطمینان مشتری می‌شود و آسیب‌پذیری در زمینه خدمات، قابل لمس نیست. تحقیقات انجام نشان می‌دهند که اعتماد به طور مثبت با وفاداری مرتبط است. وفاداری تأثیر بلندمدت رضایت مشتری بر عملکرد خدمات یک سایت است، مشتریان از خدمات ارائه شده توسط شرکت احساس رضایت می‌کنند اگر احساس کنند کیفیت خدمات دریافتی می‌تولند انتظارات را برآورده کند. تحقیقات انجام شده در [۲۱] نشان می‌دهد که کیفیت خدمات الکترونیکی از طریق رضایت الکترونیکی بر وفاداری الکترونیکی تأثیر می‌گذارد. تحقیقات [۱۹] نشان می‌دهد که رضایت الکترونیکی به طور قابل توجهی رابطه بین کیفیت خدمات و وفاداری الکترونیکی را واسطه می‌کند. تحقیقات انجام شده در [۲۲] بیان می‌کند که کیفیت خدمات الکترونیکی بر وفاداری الکترونیکی مشتریان از طریق رضایت الکترونیکی تأثیر می‌گذارد. این مطابق با تحقیقات انجام شده در [۲۳] بر روی مشتریان لازادا اندونزی است که بیان می‌کند که رضایت الکترونیکی می‌تواند یک متغیر مداخله‌گر بین کیفیت خدمات الکترونیکی و وفاداری الکترونیکی باشد. بر همین اساس فرضیه سوم به شرح زیر مطرح می‌گردد:

۱-۲-۱-۳- "بین اعتماد الکترونیکی و وفاداری الکترونیکی تأثیر معناداری وجود دارد."

بین رضایت مشتری و وفاداری مشتریان رابطه مثبت وجود دارد. زمانی که مشتری از یک سایت راضی باشد، در آینده مایل به تعامل بیشتر با سایت و تبدیل شدن به مشتری وفادار خواهد بود. اعتماد الکترونیکی را می‌توان به عنوان سطح اعتماد مشتری در کنال‌های مبادله آنلاین تعریف کرد؛ شکست در خرده‌فروشی آنلاین ناشی از عدم اعتماد مصرف‌کننده به کانال‌های الکترونیکی است. بنابراین اعتماد الکترونیکی را می‌توان به عنوان متغیری مهم در شکل‌گیری وفاداری در نظر گرفت [۲۰]. بر اساس نتایج تحقیقات [۲۴]، در مورد خرید آنلاین انجام شده توسط زنان می‌توان بیان کرد که اعتماد الکترونیکی تأثیر مثبت و معناداری بر وفاداری دارد؛ نتایج این مطالعه با تحقیقات انجام شده در



۳- روش تحقیق

این تحقیق یک نوع تحقیق کمی است که با هدف به دست آوردن داده‌های مختلف در قالب اطلاعات در مورد چگونگی تأثیر متغیر کیفیت خدمات الکترونیکی و متغیر اعتماد الکترونیکی بر متغیر وفاداری مشتری الکترونیکی با رضایت الکترونیکی به عنوان مداخله انجام می‌شود. در این مقاله، از روش توصیفی-پیمایشی استفاده شده و داده‌ها از طریق پرسشنامه با طیف لیکرت ۵ درجه‌ای گردآوری شد. محقق همچنین مصاحبه‌های شخصی با پاسخ‌دهندگان انجام داد تا زمینه‌هایی را که پرسشنامه به طور مفصل در مورد تجربه شخصی پاسخ‌دهندگان در خرید آنلاین بیان نمی‌کند، توضیح دهد. این مطالعه بر اساس خرید آنلاین و اعتماد مشتری کاربران سایت مبنی است. بستر تعامل با مشتری، ترکیبی از یک پلتفرم الکترونیکی مبتنی بر فناوری و یک پس‌زمینه مبتنی بر اعتماد مشتری بود. کارشناسان روایی و پایایی، ابزارهای تحقیق را مورد بررسی قرار دادند. آزمون روایی به طور مناسب توسط کارشناسان خرید آنلاین انجام شد و متخصصان بازاریابی نیز پایایی پرسشنامه‌های ارائه شده برای پاسخ‌دهندگان را تأیید کردند.

جامعه آماری این مقاله، اشخاصی بودند که در محیط تجارت الکترونیک و در سایت مبنی فعالیت می‌کنند. همچنین نمونه آماری به صورت تصادفی از میان کاربران انتخاب شد و پرسشنامه‌ها به صورت لینک آنلاین برای آن‌ها ارسال شد. از میان پرسشنامه‌های توزیع شده ۳۰۰ پرسشنامه تکمیل شد. از مجموع پرسشنامه‌های اجرا شده، ۲۳۷ (۷۹٪) پرسشنامه معتبر از پاسخ‌دهندگان جمع‌آوری شد. ۱۴ نفر (۵٪) پرسشنامه‌ها را ارسال نکردند و ۲۶ نفر (۹٪) از پاسخ دادن خودداری کردند. برای اطمینان از یکنواختی در پاسخ‌ها، یک رویکرد سازگار برای تأیید پاسخ‌ها به طور سیستماتیک اتخاذ شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آمار توصیفی مورد آزمون قرار گرفتند. برای بررسی پایایی از روش آلفای پایایی کرونباخ استفاده شد. ضریب پایایی کل برای ۲۳۷ پاسخ‌دهنده ۰/۸۶ بود که بر این اساس که مقدار آلفای کرونباخ باید بالاتر از ۰/۷ باشد، قابل اعتماد است. همچنین برای ارزیابی فرضیه‌ها از روش معادلات ساختاری در نرم افزار PLS استفاده شد.

۴- نتایج آمار توصیفی

۴-۱- روایی و پایایی پرسشنامه

روایی و پایایی پرسشنامه آزمایشی است که برای نشان دادن دقت و سازگاری ابزار هنگام اندازه‌گیری یک سازه استفاده می‌شود. روش‌های مورد استفاده آلفای کرونباخ و پایایی مرکب می‌باشد. آلفای کرونباخ برای اندازه‌گیری مقدار قابلیت اطمینان حد پایین سازه مورد نیاز است؛ در حالیکه پایایی ترکیبی در پیش‌بینی یکپارچگی داخلی سازه بهتر در نظر گرفته می‌شود. قاعده کلی برای آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی بیشتر از ۰/۷ است، اگرچه مقدار ۰/۶ - ۰/۷ هنوز قابل قبول است. بر اساس جدول (۱)، مشخص شده که مقدار آلفای کرونباخ و قابلیت اطمینان مرکب برای

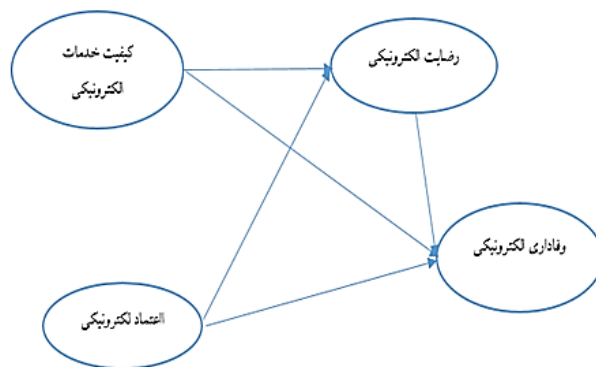
[۲۲] در مورد تجارت الکترونیک B2C در ویتنام مطابقت دارد که بیان می‌کند اعتماد الکترونیکی تأثیر مثبت بر وفاداری الکترونیکی دارد. تحقیقات [۱۸] بر روی کاربران خدمات تجارت الکترونیک در جاوا بیان می‌کند که اعتماد الکترونیکی تأثیر مثبت بر وفاداری الکترونیکی دارد. بر همین اساس فرضیه چهارم به شرح زیر مطرح می‌گردد:

۲-۱-۴- "رضایت الکترونیکی تأثیر مثبت بر وفاداری الکترونیکی دارد."

کیفیت خدمات الکترونیکی یکی از روش‌های سنجش کیفیت خدمات وب سایت بر اساس ادراک کاربر نهایی است. به گفته رولی، کیفیت خدمات الکترونیکی، تلاش یا عملکردی است که ارثه آن با واسطه فناوری اطلاعات انجام می‌شود. کیفیت خوب خدمات الکترونیکی بر اساس رضایت رسانه‌های الکترونیکی از کیفیت خدمات الکترونیکی که منجر به رضایت مشتری می‌شود تعیین می‌شود. کیفیت خدمات الکترونیکی تأثیر قابل توجهی بر وفاداری الکترونیکی دارد. کیفیت خوب خدمات الکترونیکی، نشان‌دهنده ارثه خدمات خوب است تا مصرف‌کنندگان احساس امنیت کنند و به سایت اعتماد کنند تا بتوانند اعتماد بیشتری را افزایش دهد؛ زیرا اعتماد عامل مهمی در تعاملات تجاری و مشتری است، به طوری که باعث ایجاد وفاداری مشتری به سایت آنلاین می‌شود. این نظریه از تحقیقات [۲۰] نشان می‌دهد اعتماد الکترونیکی می‌تواند تأثیر کیفیت خدمات الکترونیکی بر وفاداری الکترونیکی را واسطه کند. یک تاثیر غیرمستقیم کیفیت خدمات الکترونیکی بر وفاداری الکترونیکی از طریق اعتماد الکترونیکی وجود دارد. اعتماد به کیفیت خدمات الکترونیکی قادر است وفاداری الکترونیکی را افزایش دهد. براساس مطالب فوق، فرضیه پنجم به شرح زیر تدوین می‌گردد:

۲-۱-۵- "کیفیت خدمات الکترونیکی از طریق رضایت الکترونیکی به عنوان متغیر میانجی بر وفاداری الکترونیکی تأثیر مثبت و معناداری دارد."

براساس فرضیه‌های فوق، مدل پیشنهادی مقاله حاضر در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱): مدل پیشنهادی پژوهش حاضر [۶]

جدول (۱): نتایج روایی و پایایی پرسشنامه

معیار	آفای کرونباخ	CR
کیفیت خدمات الکترونیک	۰/۹۳	۰/۹۳
وفاداری الکترونیک	۰/۹۲	۰/۹۳
اعتماد الکترونیک	۰/۹۱	۰/۹۱
رضایت الکترونیک	۰/۹۶	۰/۹۴

جدول (۲): نتایج روایی همگرا

معیار	بارعاملی	AVE
کیفیت خدمات الکترونیک	۰/۸۳	۰/۷۴
وفاداری الکترونیک	۰/۸۲	۰/۷۵
اعتماد الکترونیک	۰/۸۱	۰/۷۵
رضایت الکترونیک	۰/۸۲	۰/۷۲

جدول (۳): نتایج اعتبار تمایز

معیار	کیفیت خدمات الکترونیک	وفاداری الکترونیک	اعتماد الکترونیک	رضایت الکترونیک
کیفیت خدمات الکترونیک	۱	۰	۰	۰
وفاداری الکترونیک	۰/۸۵۷	۱	۰	۰
اعتماد الکترونیک	۰/۸۴۱	۰/۸۷۶	۱	۰
رضایت الکترونیک	۰/۸۵۹	۰/۸۴۹	۰/۸۷۰	۱

جدول (۴): نتایج مدل ساختاری

فرضیه	ضریب مسیر	T-VALUE	نتایج فرضیه
H1	۰/۷۲۶	۶/۳۵۰	قابل قبول
H2	۰/۳۸۷	۴/۷۰۳	قابل قبول
H3	۰/۶۲۸	۴/۱۲۰	قابل قبول
H4	۰/۲۰۴	۳/۳۸۷	قابل قبول
H5	۰/۳۹۲	۴/۲۶۱	قابل قبول

۴-۵- آزمایش فرضیه

به گفته هیر و همکاران، آزمون فرضیه بر اساس یافته‌های مدل داخلی انجام می‌شود که شامل خروجی R^2 ، ضریب پارامتر T -Value است. برای تعیین اینکه آیا یک فرضیه ممکن است پذیرفته یا رد شود، به مقدار معنی دار بین سازه‌ها، T -Value ها و مقادیر p و موارد دیگر نگاه می‌شود. برای انجام آزمون فرضیه این پژوهش، از نرم‌افزار *SmartPLS* استفاده شد. در این تحقیق از T -Value > 1.96 با آستانه معناداری p -value < 0.05 (۵ درصد) و ضریب بتای مثبت استفاده شد. جدول (۴) ارزش ارزیابی فرضیه این مطالعه را نشان می‌دهد؛ مقدار مورد مطالعه در آزمون فرضیه، مقدار T -Value است که از خروجی رگرسیون مؤلفه‌های اصلی

هر متغیر پنهان از ۰/۷ فراتر رفته است؛ این نشان می‌دهد که ابزار تحقیق آزمون پایایی را گذرانده است.

۴-۲- آزمون اعتبار - روایی همگرا

آزمون اعتبار - روایی همگرا، آزمونی است که به این اصل منتهی می‌شود که شاخص‌های یک سازه باید همبستگی بالایی داشته باشند. این آزمون از شاخص‌های بازتابی استفاده می‌کند که بر اساس ضریب بارگذاری برای هر شاخص سازه امتیازدهی می‌شوند. قاعده کلی این است که مقدار ضریب بارگذاری بزرگتر از ۰/۷ است و مقدار میانگین واریانس استخراج شده^۱ باید بیشتر از ۰/۵ باشد. با این حال، مقدار ضریب بارگذاری ۰/۵ - ۰/۶ قابل قبول در نظر گرفته می‌شود. همبستگی بین سازه‌ها در جدول (۲) قابل مشاهده است.

۴-۳- اعتبار تمایز (اعتبار تشخیصی)

اعتبار تمایز، آزمونی است که منجر به این اصل می‌شود که شاخص‌های سازه‌های مختلف نباید همبستگی بالایی داشته باشند. روش دیگر مقایسه جذر میانگین واریانس استخراج شده هر سازه در مدل با همبستگی بین سازه‌های دیگر است. نتایج اعتبار تمایز همبستگی بین سازه‌ها در جدول (۳) مشخص شده است.

۴-۴- مدل ساختاری (مدل درونی)

مدل ساختاری رگرسیون مؤلفه‌های اصلی^۲ رابطه بین متغیرهای پنهان یا سازه‌ها را بر اساس نظریه ماهوی توضیح می‌دهد.

- مقدار R^2 : این مقدار برای اندازه‌گیری تأثیر متغیرهای نهفته برون‌زا (مستقل) بر روی اینکه آیا متغیرهای نهفته درون‌زا (وابسته) تأثیر اساسی دارند یا خیر استفاده می‌شود.

- مقدار Q^2 : پس از اندازه‌گیری مقدار R^2 ، مرحله بعدی یافتن مقدار ارتباط پیش‌بینی (Q^2) است. ارتباط پیش‌بینی برای اعتبارسنجی مدل عمل می‌کند. مقدار $Q^2 > 0$ ثابت می‌کند که مدل دارای ارتباط پیش‌بینی‌کننده است. فاکتورهای وابسته رضایت الکترونیک و وفاداری الکترونیک فاکتورهای این بخش است.

مقدار R^2 برای وفاداری الکترونیک ۰/۰۵۴ است؛ به این معنی که متغیر وفاداری الکترونیک را می‌توان به صورت خدماتی توضیح داد. کیفیت، رضایت الکترونیک و اعتماد الکترونیک ۵/۴ درصد است، مقدار R^2 برای رضایت الکترونیک ۰/۳۵۶ است؛ که به این معنی است که متغیر رضایت الکترونیک را می‌توان با کیفیت خدمات الکترونیک و متغیر اعتماد الکترونیک با ۳۵/۶ درصد توضیح داد. به علاوه مقدار R^2 فاکتور وفاداری الکترونیک کاربرها که هدف اصلی این مقاله است برابر ۰/۴۶۴ است که نشان‌دهنده آن است که متغیرهای رضایت الکترونیک، کیفیت خدمات الکترونیک و اعتماد الکترونیک آن را توضیح می‌دهند.

² Principle Component Regression (PLS)

¹ Average Variance Extracted (AVE)



که روش تحقیق کمی-پیمایشی بود پرسشنامه‌ای براساس فرضیه‌ها طراحی گردید و در اختیار کاربران تجارت الکترونیک قرار گرفت. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از معیارهای توصیفی و مدل‌سازی معادلات، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که براساس نتایج تمامی فرضیه‌ها تایید شدند. کیفیت خدمات به عنوان ارزیابی کلی توسط مصرف‌کنندگان از مزایای خدمات الکترونیکی ارائه شده در بازار دیجیتال تعریف می‌شود. کاربرانی که خدمات خوبی دریافت می‌کنند، احساس رضایت می‌کنند و تمایل به استفاده از سطح بالاتری دارند و به احتمال زیاد قصد استفاده مکرر دارند و خدمات را به دیگران توصیه می‌کنند. تحقق کیفیت خدمات باید هر یک از عناصر کیفیت خدمات الکترونیکی خود را برآورده کند. با پاسخگویی حریم خصوصی، امنیت، کیفیت، منافع اطلاعات، سهولت استفاده، طراحی وب در صورت رعایت تمامی این جنبه‌ها، رضایت مشتری را می‌توان به دست آورد. اگر رابطه مثبتی بین اعتماد و رضایت وجود داشته باشد، هر دو طرف از تعاملات خود ارزش کافی ایجاد خواهند کرد، به طوریکه آماده عمل به تعهدات خود هستند.

کیفیت خدمات الکترونیکی به عنوان میزانی توصیف می‌شود که یک وب سایت خرید، خرید و تحویل کارآمد را تسهیل می‌کند. علت تأثیر کیفیت خدمات الکترونیکی بر وفاداری مشتری این است که برخی از مصرف‌کنندگان هنگام خرید از فروشگاه آنلاین مورد نظر احساس می‌کنند که با آنها برخورد خاصی می‌شود. مصرف‌کنندگانی که به آن‌ها خدمات خوبی ارائه می‌شود احساس می‌کنند که خدمات آن‌ها را خراب می‌کند، به طوری که اگر مصرف‌کنندگان خدمات خوبی دریافت کنند، می‌توان وفاداری ایجاد کرد. کاربران راضی تمایل به استفاده از سطح بالاتری دارند و به احتمال زیاد قصد استفاده مکرر و توصیه خدمات به دیگران را دارند؛ از این عبارت می‌توان اینگونه تفسیر کرد که رضایت مشتری می‌تواند وفاداری مشتری فروشگاه آنلاین مورد نظر را افزایش دهد. این امر با پشتیبانی از هر شاخص، یعنی مناسب بودن انتظارات، علاقه به بازدید مجدد و تمایل به توصیه اتفاق می‌افتد. همچنین بین رضایت و وفاداری مشتری رابطه مثبت وجود دارد؛ وقتی مشتریان از یک سایت راضی باشند، مایل خواهند بود در آینده بیشتر با سایت تعامل داشته باشند و به مشتریان وفادار تبدیل شوند. تأثیر کیفیت خدمات الکترونیکی بر رضایت و وفاداری مشتری الکترونیکی نشان می‌دهد که رضایت تأثیر مثبت و معناداری بر وفاداری مشتریان الکترونیکی دارد. این بدان معناست که هر چه سطح رضایتی که یک فرد دریافت می‌کند بالاتر باشد، آن شخص به یک برند وفادارتر خواهد بود. کیفیت خدمات الکترونیکی می‌تواند تأثیر مثبتی در شکل‌گیری وفاداری مشتری داشته باشد. رضایت الکترونیکی که در مصرف‌کنندگان وجود دارد، نقشی در افزایش وفاداری مشتریان دارد، به طوری که امکان وفاداری مصرف‌کنندگان بیشتر می‌شود. رضایت مشتریان از مناسب بودن انتظارات آنها از محصولات فروخته شده در فروشگاه آنلاین مورد نظر ناشی می‌شود. محصولات ارائه شده در فروشگاه آنلاین مورد نظر مطابق با واقعیت موجود است؛ به طوری که مصرف‌کنندگان احساس می‌کنند محصولاتی که خریداری می‌کنند مطابق با انتظارات آن‌ها است، بنابراین راضی هستند و به فروشگاه آنلاین مورد نظر وفادار می‌مانند.

با مقایسه آن با مقدار T حاصل می‌شود. بر اساس جدول (۴) مشخص شده که مقدار $T-Value=6.350$ است. مقدار نمونه اصلی 0.1726 (مثبت) است که توضیح می‌دهد که $H1$ پشتیبانی می‌شود؛ یعنی کیفیت خدمات الکترونیکی تأثیر مثبت بر رضایت الکترونیکی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت خدمات الکترونیکی تأثیر معناداری بر رضایت الکترونیکی دارد؛ لذا از نظر آماری $H1$ پذیرفته شده است. همچنین در جدول مشخص است که مقدار $T-Value=4.703$ است. مقدار نمونه اصلی 0.1387 (مثبت) است. این توضیح می‌دهد که $H2$ پشتیبانی می‌شود، یعنی اعتماد الکترونیکی تأثیر مثبتی بر رضایت الکترونیکی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که متغیر اعتماد الکترونیکی تأثیر معنی داری بر رضایت الکترونیکی دارد، از نظر آماری $H2$ پذیرفته شده است.

همانطور که در جدول (۴) مشخص شده، مقدار $T-Value=4.120$ است. مقدار نمونه اصلی 0.1688 (مثبت) است. این توضیح می‌دهد که $H3$ پشتیبانی می‌شود، یعنی اعتماد الکترونیکی تأثیر مثبت بر وفاداری الکترونیکی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که متغیر اعتماد الکترونیکی تأثیر معناداری بر وفاداری الکترونیکی دارد، از نظر آماری $H3$ پذیرفته شده است. همچنین، مقدار $T-Value=3.387$ است. مقدار نمونه اصلی 0.1204 (مثبت) است. این توضیح می‌دهد که $H4$ پشتیبانی می‌شود، یعنی رضایت الکترونیکی تأثیر مثبت بر وفاداری الکترونیکی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که متغیر رضایت الکترونیکی تأثیر معناداری بر وفاداری الکترونیکی دارد، از نظر آماری $H4$ پذیرفته شده است. در جدول مشخص شده که مقدار $T-Value=4.261$ است. مقدار نمونه اصلی 0.1392 (مثبت) است. این توضیح می‌دهد که $H5$ پشتیبانی می‌شود، یعنی کیفیت خدمات الکترونیکی از طریق رضایت الکترونیکی به عنوان متغیر میانجی بر وفاداری الکترونیکی تأثیر مثبت و معناداری دارد. بنابراین از نظر آماری $H5$ پذیرفته شده است. نتایج این مطالعه با تحقیقات قبلی در [۲۵، ۱۰، ۲۶] مطابقت دارد که نشان داد کیفیت خدمات الکترونیکی از طریق رضایت الکترونیکی بر وفاداری الکترونیکی تأثیر معناداری دارد. علاوه بر این، تحقیقات [۲۲] نشان داد که کیفیت خدمات الکترونیکی از طریق رضایت الکترونیکی بر وفاداری الکترونیکی تأثیر دارد.

۵- نتیجه گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، رضایت الکترونیکی بر وفاداری مشتری تأثیر دارد. کیفیت خدمات الکترونیکی از طریق رضایت الکترونیکی به عنوان متغیر میانجی تأثیر مثبت بر وفاداری الکترونیکی دارد. تجربه مشتری از اعتماد تأثیر مهمی بر وفاداری مشتری از طریق رضایت الکترونیکی دارد. با این حال، تأثیر رضایت الکترونیکی به عنوان میانجیگری جزئی شناخته شده است. در همین راستا هدف این مقاله بررسی و تحلیل تاثیر کیفیت خدمات بر اعتماد و وفاداری مشتریان با نقش میانجی رضایت الکترونیکی بود. با توجه به پیشینه تحقیق، فرضیه‌ها تدوین گردید و براساس آن مدل پیشنهادی طراحی گردید. از آنجایی

- [14] Prasetya, W., Natalia, C., Hanjaya, N. N., & Kartikaningsih, D., "Understanding critical variable for customer loyalty in c2c mode", *Dinasti International Journal of Management Science*, 3(5), 936-952, 2022, doi: 10.31933/dijms.v3i5.1229.
- [15] Widiaputri, Y. S., "Pengaruh E-Service Quality Terhadap Perceived Value Dan E-Customer Satisfaction (Survei Pada Pelanggan Go-Ride Yang Menggunakan Mobile Application Go-Jek Di Kota Malang) (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).2018, doi: 10.17512/pjms.2017.15.2.17.
- [16] Tobagus, A., "Pengaruh E-service quality terhadap E-satisfaction Pada Pengguna di Situs Tokopedia", *Agora*, 6(1), 2018, <https://publication.petra.ac.id/index.php/manajemen-bisnis/article/view/6459/5876>.
- [17] Ghane, S. O. H. E. I. L. A., Fathian, M., & Gholamian, M. R., "Full relationship among e-satisfaction, e-trust, e-service quality, and e-loyalty: The case of Iran e-banking", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 33(1), 1-6, 2011, <https://www.jatit.org/volumes/Vol33No1/1Vol33No1.pdf>.
- [18] Hasanuddin, R., & Sjahruddin, H., "The structure of emotional intelligence, spiritual intelligence and its relationship with work enthusiasm and auditor performance", *Structure*, 3(1), 67-85, 2017, doi: 10.5296/wjbm.v3i1.1132.
- [19] Nurayni, D., & Widiartanto, W., "Pengaruh E-Service Quality, E-Satisfaction Dan E-Trust Terhadap Customer Loyalty Pengguna Aplikasi Mobile Kai Access (Studi Pada Pengguna Aplikasi Mobile Kai Acces Semarang)", *Jurnal Ilmu Administrasi Bisnis*, 8(2), 128-137, 2019, doi:10.5267/j.ijdns.2021.12.006.
- [20] Purnamasari, D., "The Roles of E-Service Quality, E-Trust, and E-Satisfaction on Online Retail Loyalty", In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, Vol. 9, pp.633-641, October 2018, doi: 10.35313/irwns.v9i0.1107
- [21] Magdalena, A., "Analisis antara E-Service Quality, E-Satisfaction, dan E-Loyalty Dalam Konteks E-Commerce Blibli", *Jurnal Strategi Pemasaran*, 5(2), 2018, <https://publication.petra.ac.id/index.php/manajemen-pemasaran/article/view/7172/0>.
- [22] Melinda, M., "Pengaruh E-service Quality Terhadap E-loyalty Pelanggan Go-jek Melalui E-satisfaction Pada Kategori Go-ride", *Agora*, 5(1), 2017, <https://publication.petra.ac.id/index.php/manajemen-bisnis/article/view/5190>.
- [23] Riza, S., & Sutopo, S., "Analisis pengaruh e-service quality, kualitas informasi dan persepsi kemudahan terhadap e-loyalty dengan e-satisfaction sebagai variabel intervening" *Diponegoro Journal of Management*, 6(4), 929-941, 2017, <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/djom/article/view>.
- [24] Asih, R. R. D., & Pratomo, L. A., "Peran mediasi e-satisfaction dan e-trust terhadap e-loyalty" *Jurnal Manajemen dan Pemasaran Jasa*, 11(1), 125-144, 2018, doi: 10.25105/jmpj.v11i1.2537.
- [25] Aslam, W., Hussain, A., Farhat, K., & Arif, I., "Underlying factors influencing consumers' trust and loyalty in E-commerce", *Business Perspectives and Research*, 8(2), 186-204, 2020, doi:10.1177/2278533719887451.
- [26] Avania, I. K., & Widodo, A., "Affect Of E-Service Quality On E-Customers Loyalty Through E-Customers Satisfaction On E-Commerce Shopee", *Budapest International Research and Critics Institute (BIRCI-Journal): Humanities and Social Sciences*, 5(1), 535-546, 2022, doi:10.33258/birci.v5i1.3641
- [1] Behjati, S., Nahich, M., & Othaman, S.N., "Interrelation between E-service Quality and E-satisfaction and Loyalty." *European Journal of Business and Management*, 4(9), 75-85, 2012, <https://www.iiste.org/Journals/index.php/EJBM/article/view/2206/2219>.
- [2] Purnamasari, D., "The Roles of E-Service Quality, E-Trust, and E-Satisfaction on Online Retail Loyalty". In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, Vol. 9, pp. 633-641, October 2018, doi: 10.35313/irwns.v9i0.1107.
- [3] Muharam, H., Chaniago, H., Endraria, E., & Harun, A. B., "E-service quality, customer trust and satisfaction market place consumer loyalty analysis." *Jurnal Minds: Manajemen Ide dan Inspirasi*, 8(2), 237-254, 2021, doi: 1024.52/minds.v8i223224.
- [4] Kedah, Z., "Use of e-commerce in the world of business", *Startuppreneur Business Digital (SABDA Journal)*, 2(1), 51-60, 2023, doi: 10.33050/sabda.v2i1.273.
- [5] Zhao, Y., "The Impact of E-service Quality, Customer Satisfaction and Customer Trust on Customer Behavior" *Repurchase intention and WOM in Online Shopping in China* (Doctoral dissertation, Universidade de Coimbra), 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02690
- [6] Wang, S., Cavusoglu, H., & Deng, Z., "Early mover advantage in e-commerce platforms with low entry barriers: The role of customer relationship management capabilities", *Information & Management*, 53(2), 197-206, 2016, doi: 10.1016/j.im.2015.09.011.
- [7] Al-Adwan, A. S., & Al-Horani, M. A., "Boosting customer e-loyalty: An extended scale of online service quality", *Information*, 10(12), 380, 2019, doi:10.3390/info10120380.
- [8] Anderson, R. E., & Srinivasan, S. S., "E-satisfaction and e-loyalty: A contingency framework", *Psychology & marketing*, 20(2), 123-138, 2003, doi: 10.1002/mar.10063.
- [9] Wilis, R. A., & Nurwulandari, A., "The effect of E-Service Quality, E-Trust, Price and Brand Image Towards E-Satisfaction and Its Impact on E-Loyalty of Traveloka's Custome", *Jurnal Ilmiah MEA (Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi)*, 4(3), 1061-1099, 2020, doi: 10.21009/JDMB.06.1.6.
- [10] Tran, V. D., & Vu, Q. H., "Inspecting the relationship among E-service quality, E-trust, E-customer satisfaction and behavioral intentions of online shopping customers", *Global Business & Finance Review (GBFR)*, 24(3), 29-42, 2019, doi: 10.17549/gbfr.2019.24.3.29.
- [11] Husain, S., "The determinants of loyalty in online commerce—An exploratory study in India", *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 81(1), 1-17, 2017, doi: 10.1002/j.1681-4835.2017.tb00599.x.
- [12] Dhingra, S., Gupta, S., & Bhatt, R., "A study of relationship among service quality of E-commerce websites, customer satisfaction, and purchase intention", *International Journal of E-Business Research (IJEER)*, 16(3), 42-59, 2020, doi:10.4018/IJEER.2020070103.
- [13] Ali, R., Wahyu, F. R. M., Darmawan, D., Retnowati, E., & Lestari, U. P., "Effect of Electronic Word of Mouth, Perceived Service Quality and Perceived Usefulness on Alibaba's Customer Commitment", *Journal of Business and Economics Research (JBE)*, 3(2), 232-237, 2022, doi: 10.47065/jbe.v3i2.1763.





Islamic Azad University , Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده‌ها و سامانه‌ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iau.ir/journal/jcda



Deep Learning Applications in Breast Cancer Imaging: Past Achievements and Future Challenges

Zahra MaghsoodzadehSarvestani^{1*}, Salma Shirdeh²

¹ Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

za.maghsoodzadeh@iau.ac.ir

² Faculty of Media Engineering and Technology, IRIB University, Tehran, Iran

salmashirdel@gmail.com

Abstract: Since 2020, breast cancer has become the most frequently diagnosed malignancy worldwide. The role of breast imaging in early detection and intervention is critical for improving patient outcomes. In the past decade, deep learning has revolutionized the analysis of breast cancer imaging, providing significant advancements in interpreting the complex data from various imaging modalities. With the rapid evolution of deep learning technology and the increasing incidence of breast cancer, it is essential to review past achievements and identify future challenges. This paper offers an extensive review of deep learning-based breast cancer imaging research, focusing on studies involving mammograms, ultrasound, magnetic resonance imaging, and digital pathology images over the last ten years. It highlights the primary deep learning methods and their applications in imaging-based screening, diagnosis, treatment response prediction, and prognosis. Based on the research findings, we discuss the challenges and propose potential future research directions in deep learning-based breast cancer imaging.

Keywords: Mammograms, Ultrasound, Magnetic Resonance Imaging, Deep Learning.

JCDSA, Vol. 2, No. 6, Summer 2024

Received: 2024-08-26

Online ISSN: 2981-1295

Accepted: 2024-09-18

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcda>

Published: 2024-09-21

CITATION

Maghsoodzadeh, Z., Shirdeh, S., "Deep Learning Applications in Breast Cancer Imaging: Past Achievements and Future Challenges", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 2, No. 6, pp. 39-49, 2024.

DOI: 00.00000/0000

COPYRIGHTS



©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

* Corresponding author

Extended Abstract

1- Introduction

This article explores the advancements made over the past decade in utilizing deep learning for breast cancer image analysis. Since 2020, breast cancer has held the highest incidence rate among all malignancies globally. Breast imaging is vital for early diagnosis and intervention, enhancing outcomes for patients with breast cancer. Throughout the last decade, deep learning has shown remarkable progress in analyzing breast cancer images, fostering great optimism for interpreting the rich and complex information embedded in these images.

2- Deep Learning Methods for Breast Cancer Analysis

- **Classification:** Deep learning models are employed to classify images into different categories, such as the presence or absence of cancer. These models are trained using Convolutional Neural Networks (CNN) to extract important features from images and make decisions based on them. For example, the Densely Connected Network (DenseNet) model is one of the successful models in this field, achieving high accuracy in detecting breast cancer through the use of dense layers.
- **Detection:** Deep learning techniques are utilized to identify and locate suspicious areas in images. These models generally employ convolutional neural networks (CNNs) and recurrent neural networks (RNNs) to pinpoint these regions. Such methods can aid radiologists in detecting suspicious areas more swiftly and accurately.
- **Segmentation:** The goal of these methods is to deliver pixel-wise predictions that define the exact boundaries of tumors. Deep learning models like U-Net and SegNet are employed for this task. These models pinpoint the precise tumor boundaries in images through convolutional and recurrent layers, aiding doctors in developing more accurate treatment plans for patients.

3- Deep Learning Applications in Breast Cancer

- **Screening and Diagnosis:** Utilizing deep learning for the early and more precise detection of breast cancer via mammography, ultrasound, and MRI images. These models can autonomously analyze images and pinpoint suspicious areas, aiding in reducing diagnosis time and enhancing accuracy.
- **Predicting Treatment Response and Prognosis:** Deep learning models are used to predict patients' response to treatment and predict long-term outcomes. These models can analyze clinical and image data to predict which patients will respond positively to certain treatments and which patients need alternative treatments.

- **Pathology Image Analysis:** Deep learning models are used to analyze digital pathology images. These models can identify cancer cells in pathology images and help doctors make a more accurate diagnosis. These methods can help reduce human errors and increase diagnostic accuracy.

4- Results (Deep Learning Applications)

- **Screening and diagnosis:** Deep learning models have been used to detect breast cancer earlier and more accurately through mammography, ultrasound, and MRI. These models can automatically analyze images and identify suspicious areas, which can help reduce detection time and increase accuracy.
- **Predicting treatment response and prognosis:** Deep learning models are used to predict patients' response to treatment and predict long-term outcomes. These models can analyze clinical and image data to predict which patients will respond positively to certain treatments and which patients need alternative treatments.
- **Pathology Image Analysis:** Deep learning models are used to analyze digital pathology images. These models can identify cancer cells in pathology images and help doctors make a more accurate diagnosis. These methods can help reduce human errors and increase diagnostic accuracy.

5- Challenges and future directions:

Challenges:

- **Need for big, high-quality data:** Deep learning models require big, high-quality data for training. Collecting and labeling this data is time-consuming and costly.
- **Interpretability of models:** One of the main challenges of deep learning is the interpretability of models. Deep learning models are known as "black boxes," and it's difficult to figure out how they came to a specific outcome.
- **Adaptability of models to new data:** Deep learning models need to be able to adapt to new and diverse data. This requires improving training methods and increasing the generalizability of models.

Future directions:

- **Semi-supervised learning and transferential learning:** The use of semi-supervised learning and transferential learning can help reduce the need for labeled data and increase the accuracy of models.
- **Multifaceted learning:** Using multiple data such as images, clinical data, and genetic data can help in a more comprehensive and accurate analysis.
- **International cooperation:** International cooperation and the use of big data can lead to further advancements in this area.





کاربردهای یادگیری عمیق در تصویربرداری سرطان پستان: دستاوردهای گذشته و چالش‌های آینده

زهرا مقصودزاده سروسناتی^{۱*}، سلما شیردل^۲

۱- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (Za.maghsoodzadeh@iau.ac.ir)

۲- دانشکده فنی و مهندسی رسانه، دانشگاه صدا و سیما، تهران، ایران (salmashirdel@gmail.com)

چکیده: از سال ۲۰۲۰، سرطان سینه به شایع‌ترین بدخیمی تشخیص داده شده در سراسر جهان تبدیل شده است. نقش تصویربرداری پستان در تشخیص زود هنگام و مداخله برای بهبود نتایج بیمار بسیار مهم است. در دهه گذشته، یادگیری عمیق انقلابی در تجزیه و تحلیل تصویربرداری سرطان پستان ایجاد کرده است و پیشرفت‌های قابل توجهی در تفسیر داده‌های پیچیده از روش‌های مختلف تصویربرداری ارائه می‌دهد. با تکامل سریع فناوری یادگیری عمیق و افزایش بروز سرطان سینه، مرور دستاوردهای گذشته و شناسایی چالش‌های آینده ضروری است. این مقاله بررسی گسترده‌ای از تحقیقات تصویربرداری سرطان پستان مبتنی بر یادگیری عمیق را ارائه می‌دهد که بر مطالعات مربوط به ماموگرافی، سونوگرافی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی و تصاویر آسیب شناسی دیجیتال در ده سال گذشته تمرکز دارد. روش‌های یادگیری عمیق اولیه و کاربردهای آن‌ها در غربالگری، تشخیص، پیش‌بینی پاسخ درمان و پیش‌آگهی مبتنی بر تصویربرداری را برجسته می‌کند. بر اساس یافته‌های تحقیق، چالش‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد و جهت‌های تحقیقاتی بالقوه آینده در تصویربرداری سرطان پستان مبتنی بر یادگیری عمیق پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ماموگرافی، سونوگرافی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی، یادگیری عمیق.

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: مروری

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

تصویربرداری رزونانس مغناطیسی و تصویربرداری پاتولوژی، نقش حیاتی در ارائه تحقیقات میکروسکوپی و ماکروسکوپی از سرطان سینه برای هدایت تصمیمات درمانی ایفا کرده‌است. همچنین ثابت شده که ماموگرافی (که برای اولین بار در سال ۱۹۱۳ انجام شد) پس از پی‌گیری طولانی‌مدت، میزان مرگ و میر ناشی از سرطان پستان را کاهش می‌دهد. ماموگرافی از اشعه ایکس کم‌انرژی برای بررسی سینه استفاده می‌کند؛ که اغلب با قرار دادن بافت‌ها در یک تصویر دو بعدی انجام می‌شود. غربالگری ماموگرافی مبتنی بر جمعیت سازمان‌یافته برای زنان توسط سازمان بهداشت جهانی توصیه می‌شود که می‌تواند تشخیص زود هنگام و بهبود پیش‌آگهی برای بیماران بالقوه را فراهم کند. علاوه بر غربالگری، ماموگرام‌ها نیز برای تشخیص اختلالاتی مانند توده‌ها، کلسیفیکاسیون‌ها، تحریفات معماری یا عدم تقارن بافت، مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به ماهیت برهم‌نهی ماموگرام‌های دو بعدی، این روش می‌تواند برای اطلاعات غنی‌تر مورد نیاز باشد. نماهای استاندارد ماموگرافی، نمای کرانیوکودال (CC)^۲ و نمای میانی-جانبی (MLO)^۳ برای هر دو سینه هستند، که به ترتیب مستقیماً از بالا و از یک سمت زاویه‌دار پستان گرفته شده‌اند. تصویرهای اضافی نیز ممکن است بسته

۱- مقدمه

سرطان سینه به بیماری بدخیمی با بالاترین میزان بروز جهانی با حدود ۲/۳ میلیون مورد جدید در سال ۲۰۲۰ تبدیل شده‌است. اگرچه نرخ مرگ و میر از سال ۱۹۸۹ به طور پیوسته کاهش یافته [۱]؛ سرطان سینه پنجمین علت مرگ و میر سرطان در جهان و علت اصلی مرگ و میر ناشی از سرطان در زنان است. با افزایش نرخ بروز در بیشتر چهار دهه گذشته و برآورد ۶۸۵۰۰۰ مرگ در سال ۲۰۲۰، سرطان سینه را می‌توان به دو دسته سرطان تهاجمی و سرطان درجا طبقه‌بندی کرد. آمارهای اخیر توسط انجمن سرطان آمریکا نشان داد که طول عمر سرطان سینه به طور قابل توجهی با تشخیص مرحله به مرحله تغییر می‌کند. نرخ بقای پنج ساله بیماران آمریکایی تشخیص داده شده در طول ۲۰۱۲ - ۲۰۱۸ برای مرحله اول ۹۹٪، برای مرحله دوم ۹۳٪، برای مرحله سوم ۷۵٪ و برای مرحله چهارم ۲۹٪ بود. تشخیص زود هنگام و درمان‌های سیستمیک کارآمد در کاهش میزان مرگ و میر سرطان سینه ضروری هستند. تصویربرداری پستان، از جمله ماموگرافی، سونوگرافی،

* نویسنده مسئول

^۲ نمای CC (Cranio caudal view) بخش میانی پستان و نیز بخش جانبی

خارجی پستان را تا جائیکه ممکن است، نشان می‌دهد.

^۳ نمای MLO (Mediolateral oblique view) ربع فوقانی خارجی پستان را

که بیشترین پاتولوژی‌های پستان در این منطقه رخ می‌دهد را نشان می‌دهد.



چربی [۷] برای سرکوب سیگنال از بافت چربی به عنوان یک مرحله کمکی معرفی شده است. برای فراهم کردن کانون‌های مرئی مختلف، انواع مختلفی از توالی‌ها می‌توانند تولید شوند [۸]؛ که شامل IT - موزون، 2T - موزون^۴ و ام آر آی انتشار - موزون^۵ است. افزایش کنتراست ام آر آی دینامیک^۶ به توالی اصلی بالینی و تحقیقاتی تبدیل شده است، که می‌تواند اطلاعات اضافی را با مشاهده تغییرات IT در فازه‌های متعدد پس از تزریق عامل کنتراست فراهم کند [۹]. ام آر آی خلاصه شده پستان که از ام آر آی دینامیک تک‌فاز اولیه استفاده می‌کند، به عنوان یک روش معاینه کوتاه‌شده برای غربالگری سرطان پستان معرفی شده است [۱۰]. آسیب‌شناسی پستان یک بررسی میکروسکوپی برای سرطان به روش تهاجمی است. در تشخیص بالینی، تحلیل میکروسکوپی توسط تصویربرداری پاتولوژی به عنوان استاندارد طلایی برای تعیین نهایی سرطان سینه در نظر گرفته می‌شود. یک نمونه از بافت سینه بیمار توسط آسیب‌شناسان برداشته می‌شود و بر روی یک اسلاید میکروسکوپی قرار داده می‌شود. سپس از لکه‌های خاص و رنگ‌ها برای شناسایی سلول‌های سرطانی و تایید حضور گیرنده‌های شیمیایی استفاده می‌شود. رایج‌ترین لکه برای نمونه‌های بافت سینه، رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین-ئوزین^۷ (رنگ‌آمیزی ایرویدی) است [۱۱]؛ که بیش از یک قرن است که مورد استفاده قرار می‌گیرد و هنوز هم فرآیند استاندارد برای تشخیص هیستوپاتولوژیکی است [۱۲]. علاوه بر این، روش‌های کمکی اغلب برای تکمیل تشخیص مورد نیاز هستند، مانند ایمونوهیستوشیمی^۸ [۱۳] و هیبریداسیون در محل^۹ [۱۴]. در آسیب‌شناسی بالینی معمول، بیومارکرهای پیش‌بینی و پیش‌آگهی گیرنده استروژن^{۱۰}، گیرنده پروژسترون^{۱۱}، گیرنده فاکتور رشد اپیدرمی انسان^{۱۲}، و پروتئین هسته‌ای مربوط به تکثیر، توسط IHC تجزیه و تحلیل می‌شود [۱۵]. توصیف سرطان سینه نیازمند تفسیر اطلاعات بالینی پیچیده ارائه شده توسط تصویربرداری پستان از سطح ماکروسکوپی تا سطح میکروسکوپی است. با افزایش سریع مقیاس داده‌های پزشکی و توسعه فناوری تصویربرداری، تحلیل تصاویر با ابعاد بزرگ با هوش مصنوعی (AI) وعده بزرگی در بهبود کارایی روش‌های بالینی دارد. هوش مصنوعی فعلی معمولاً با یادگیری عمیق (DL) نشان داده می‌شود، که دستاوردهای قابل توجهی در طول دهه گذشته داشته و به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف مانند پردازش تصویر یا تشخیص گفتار مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴]. در مقایسه با روش‌های تشخیص کامپیوتری مرسوم که بر ویژگی‌های مهندسی متکی هستند؛ مدل‌های یادگیری عمیق کارایی زیادی در استخراج بازنمایی‌ها از داده‌های با بعد بالا (مانند تصاویر) نشان می‌دهند، و عملکرد آنها اغلب با داده‌های آموزشی بیشتر بهتر است.

به نیازهای عملی گرفته شوند. ترکیب دیجیتال ماموگرافی^۱ (DBT)، که به عنوان ماموگرافی سه‌بعدی نیز در نظر گرفته می‌شود، معرفی شده تا زمینه‌ی فضایی بیشتری را برای بررسی دقیق سینه‌ها فراهم کند و به عنوان استاندارد مراقبت‌های تصویربرداری سینه در حال ظهور است. تصویربرداری اولتراسوند (سونوگرافی) از امواج صوتی فرکانس بالا برای مشاهده داخل بدن بدون هیچگونه اشعه یونیزه‌کننده استفاده می‌کند. از زمان تلاش‌های اولیه در توصیف ویژگی‌های صوتی تومورهای سینه، تصویربرداری اولتراسونیک دست‌خوش یک سری تحولات هم در طراحی ابزار و هم در کاربردهای بالینی شده است. در طول چند دهه گذشته، کیفیت تصاویر سونوگرافی تا حد زیادی با پیشرفت در طراحی مبدل، الکترونیک، کامپیوتر و سیگنال‌ها بهبود یافته است. بنابراین، سونوگرافی به یک حالت اصلی تصویربرداری برای تشخیص سرطان سینه در معاینات بالینی تبدیل شده است. در حال حاضر، سونوگرافی پستان به طور گسترده برای تشخیص کیست‌ها و گره‌های جامد با ویژگی بالا [۲] و طبقه‌بندی توده‌های جامد به عنوان خوش‌خیم یا بدخیم در ترکیب با ماموگرافی [۳] استفاده می‌شود. همچنین در غربالگری و تشخیص سرطان‌های پستان در مراحل اولیه مفید بوده و برای زنان آسیایی با پستان‌های مترکم توصیه می‌شود [۴]. به دلیل سهولت استفاده و قابلیت تصویربرداری بلادرنگ، سونوگرافی پستان، در مقایسه با بیوپسی‌های پستان و دیگر روش‌های مداخله‌ای تهاجمی از محبوبیت برخوردار است. حالت مدبرایتنس^۲ رایج‌ترین شکل تصویربرداری اولتراسونیک برای سینه‌ها است. تصویربرداری ترکیبی و تصویربرداری هارمونیک نیز به طور فزاینده‌ای برای تصویرسازی ضایعات سینه و کاهش مصنوعات تصویر به کار می‌روند. علاوه بر این، علاقه فزاینده‌ای به استفاده از سونوگرافی داپلر رنگی و عوامل کنتراست برای اندازه‌گیری جریان خون تومور و تصویربرداری از عروق تومور وجود دارد. ام آر آی^۳ [۵] از امواج رادیویی و میدان‌های مغناطیسی برای تولید اطلاعات دقیق‌تر استفاده می‌کند؛ که اغلب یک تصویر سه‌بعدی از داخل سینه است. از زمان اختراع ام آر آی در سال ۱۹۷۱، ارزیابی‌های بالینی متعددی شاهد کارایی ام آر آی سینه بوده‌اند. ام آر آی پستان بالاترین حساسیت را در میان روش‌های تصویربرداری رادیولوژی برای تشخیص سرطان سینه دارد [۶]؛ و به طور گسترده به عنوان یک ابزار کمکی برای تشخیص و پیش‌بینی ضایعات مرتبط با سینه استفاده می‌شود. امروزه، آزمایش‌های ام آر آی در حال تبدیل شدن به روش‌های اصلی اسکن کردن برای نظارت بر پاسخ دوره درمان و عود است؛ که جزئیات بیشتری از سینه‌ها را بدون معرفی پرتوای یونیزه‌کننده ارائه می‌دهد. با توجه به اینکه آناتومی سینه شامل انواع مختلفی از بافت‌ها است، تکنیک سرکوب

⁵ DW-MRI: Diffusion-weighted MRI

⁶ Dynamic Contrast Enhanced (DCE)-MRI

⁷ hematoxylin-eosin stain (H&Estain)

⁸ Immunohistochemistry (IHC)

⁹ In Situ Hybridization (ISH)

¹⁰ Predictive and prognostic biomarkers estrogen receptor α

¹¹ Progesterone Receptor (PgR)

¹² Human epidermal growth factor receptor 2 (HER2)

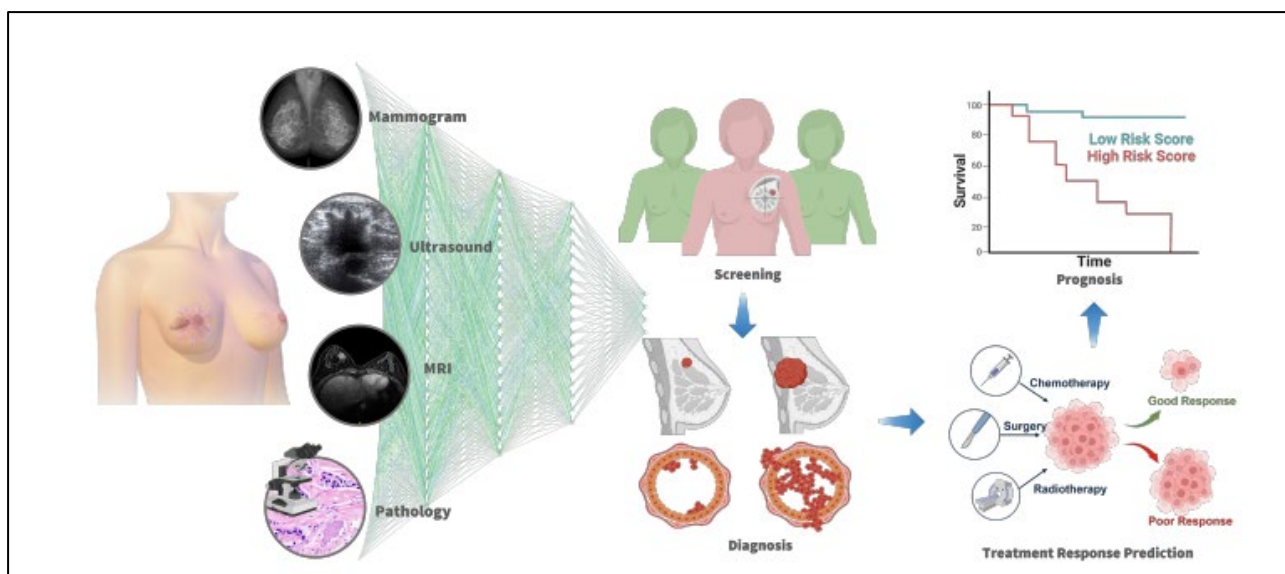
¹ Digital Breast Tomosynthesis

^۲ مد برایتنس یا B-Mode یک نمایش تصویر اولتراسوند به صورت دو بعدی است که از نقاط روشنی که پژواک اولتراسوند را نشان می‌دهد تشکیل شده است. میزان روشنایی هر نقطه با دامنه سیگنال اکو برگشتی تعیین می‌شود.

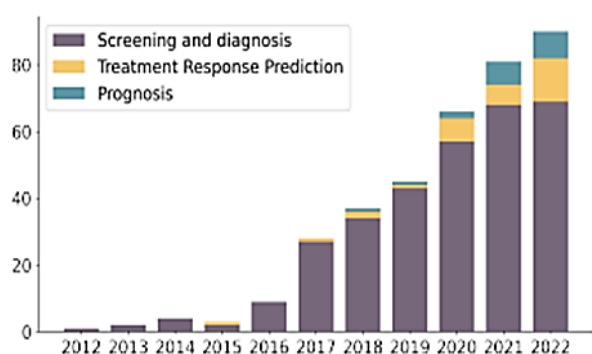
^۳ تصویربرداری تشدید مغناطیسی (Magnetic Resonance Imaging)

^۴ T1-weighted, T2-weighted





شکل (۱): روش‌های معمول تصویربرداری شامل ماموگرام، سونوگرافی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی (ام‌آر‌آی) و تصاویر پاتولوژی [۱۲]



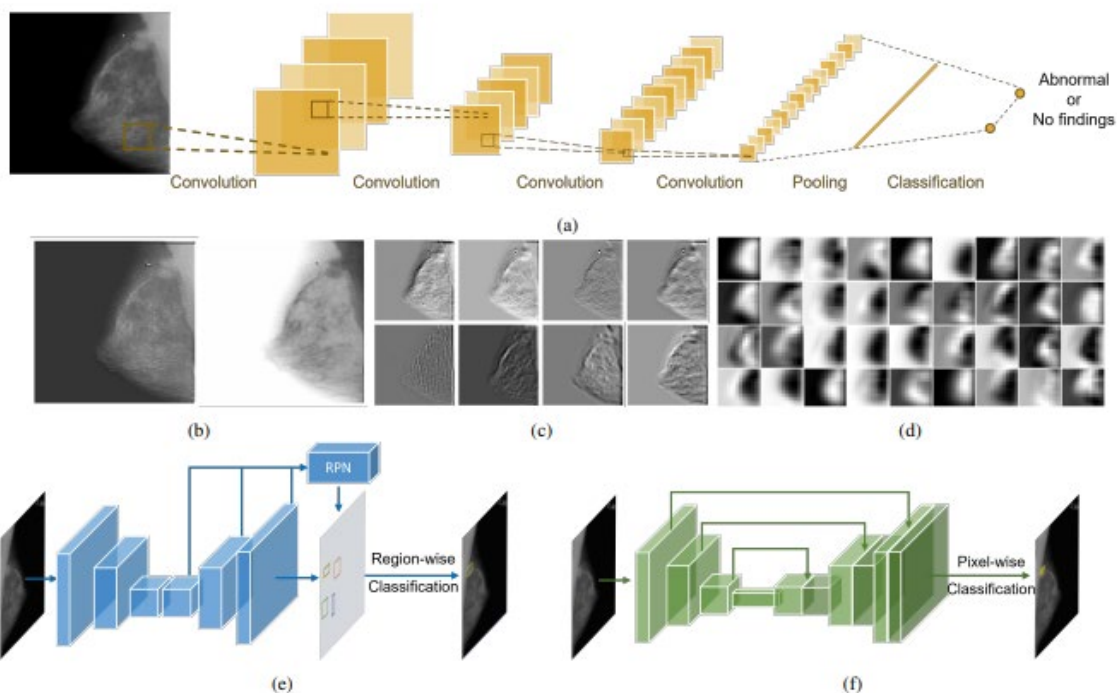
شکل (۲): تعداد مقالات ارائه شده در حوزه یادگیری عمیق در تصویربرداری سرطان پستان از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲

۲- یادگیری عمیق برای تحلیل سرطان پستان

در این بخش مهم‌ترین روش‌های یادگیری عمیق مورد استفاده در تصویربرداری سرطان سینه معرفی می‌شود. در ابتدا با دسته‌بندی تحلیل تصویر سرطان سینه به سه وظیفه اساسی، یعنی طبقه‌بندی، تشخیص و تقسیم‌بندی، با توجه به انواع خروجی، فرمول‌ها و برخی از مدل‌های یادگیری عمیق که به طور عمده مورد استفاده قرار می‌گیرند را معرفی می‌کنیم. تصویر مختصری از مدل‌های یادگیری عمیق که معمولاً در هر وظیفه به کار می‌روند را می‌توان در شکل (۳) یافت. الگوهای یادگیری عمیق به کار رفته شامل یادگیری با نظارت، یادگیری با نظارت ضعیف، یادگیری بدون نظارت، یادگیری انتقالی و یادگیری چند وجهی است. در قسمت (a) یک شبکه طبقه‌بندی که از کانولوشن و ترکیب برای نمونه‌برداری تصویر و در عین حال گسترش کانال‌های ویژگی‌ها استفاده می‌کند. نقشه‌های ویژگی نهایی در یک بردار ویژگی ادغام می‌شوند و اغلب یک لایه کاملاً متصل می‌تواند برای انجام طبقه‌بندی براساس بردار ویژگی مورد استفاده قرار گیرد. نقشه‌های ویژگی معمول استخراج‌شده از لایه‌های ۱، ۷ و ۱۷ به ترتیب در (d-b) نشان داده شده‌اند.

تاکنون، یادگیری عمیق به طور گسترده‌ای برای تجزیه و تحلیل تصاویر پزشکی مورد مطالعه قرار گرفته [۱۸] و عملکرد بالایی در زمینه‌های مختلف نشان داده‌است [۱۹]. با هم‌گرایی AI و عملکرد انسان، امروزه یادگیری عمیق نیز در حال شکل‌دهی مجدد تحقیقات سرطان و مراقبت بالینی شخصی است. شکل (۱) روش‌های معمول تصویربرداری شامل ماموگرافی، سونوگرافی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی (ام‌آر‌آی) و تصاویر پاتولوژی را نشان می‌دهد [۱۲]. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده در دهه اخیر تصویربرداری پستان مبتنی بر یادگیری عمیق پیشرفت چشمگیری داشته‌است. با این حال، یک بررسی گسترده در مورد تجزیه و تحلیل سرطان پستان مبتنی بر یادگیری عمیق هنوز وجود ندارد تا پیشرفت در روش‌های مختلف تصویربرداری در دهه گذشته را نشان دهد. بنابراین، هدف اصلی این مقاله بررسی توسعه یادگیری عمیق در تصویربرداری سرطان سینه، شناسایی چالش‌هایی که هنوز باید در این زمینه به آن‌ها پرداخته شود، و بررسی راه‌حل‌های بالقوه برای این چالش‌ها است. این بررسی شامل کاربردهایی از غربالگری، تشخیص، و پیش‌بینی پاسخ به درمان برای پیش‌آگهی، پوشش روش‌های تصویربرداری از ماموگرافی، سونوگرافی، و ام‌آر‌آی گرفته تا تصاویر پاتولوژی است. مقاله‌ها از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفتند که گستره وسیعی از کاربردهای یادگیری عمیق در تصویربرداری سرطان سینه را پوشش می‌دهند.

ادامه این کار به شرح زیر است: در بخش ۲، روش‌های یادگیری عمیق اصلی مورد استفاده در تحلیل تصویر سرطان سینه معرفی می‌شود. در بخش ۳، جزئیات کاربردهای یادگیری عمیق در تجزیه و تحلیل تصویر سرطان سینه در چهار جنبه (غربالگری، تشخیص، پیش‌بینی پاسخ درمان، و پیش‌آگهی) شرح داده شده است. در بخش ۴، چالش‌های اصلی پیش روی این حوزه مورد بحث قرار گرفته و دیدگاه‌های آینده که در پیشبرد این حوزه وعده می‌دهند را برجسته کرده است. در نهایت، در بخش ۵ نتیجه‌گیری بیان می‌شود.



شکل (۳): تصویر مختصر از مدل‌های یادگیری عمیق، (a) یک شبکه طبقه‌بندی معمولی، (b)، (c) و (d) نقشه‌های ویژگی معمول استخراج شده از لایه‌های ۱، ۷ و ۱۷، (e) گردش کار نمونه‌برداری نزولی، (f) یک شبکه طبقه‌بندی [۱۸]

$$L = -y \log \hat{y} \quad (1)$$

برای مدل کردن، مطالعات قبلی از شبکه‌های عصبی مصنوعی [۱۹] استفاده می‌کنند که توسط چندین لایه کاملاً متصل ساخته شده‌اند و به عنوان ویژگی‌های دست‌ساز ورودی در نظر گرفته می‌شوند. شبکه عصبی کانولوشن [۲۰] از مهندسی ویژگی خلاص می‌شود و مساله طبقه‌بندی را بر روی تصاویر به طور کامل به پایان می‌رساند. در سال ۲۰۱۲، موفقیت الکسنت [۲۱]، یک شبکه پنج لایه شبکه عصبی-کانولوشن که با واحد پردازش گرافیکی^۲ کار می‌کرد، عصر یادگیری عمیق را با عملکرد خروجی آن در چالش شبکه تصویر^۳ آغاز کرد. گروه هندسه بصری^۴ [۲۲]، عمق شبکه عصبی کانولوشن را با هسته‌های کوچک‌تر و تلفات کمکی گسترش داد. شبکه‌های باقی مانده^۵، شبکه عصبی کانولوشن را به صدها لایه عمیق‌تر کرده و مشکل گرادیان را با قطع ارتباطات غلبه کردند. بسیاری از شبکه‌های دیگر مانند شبکه با اتصال مستقیم^۶ [۲۴] و مجموعه دریافتی [۲۵]، به طور گسترده در تصویربرداری سرطان پستان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اخیراً، ترانسفورماتور بینایی [۲۷]، به عنوان نوعی از شبکه‌های عصبی عمیق که عمدتاً مبتنی بر مکانیزم توجه است و پتانسیل زیادی در پردازش تصویر دارد، مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که مدل‌های طبقه‌بندی اغلب به عنوان استخراج‌کننده ویژگی برای کارهای دیگری که در بخش‌های بعدی معرفی خواهند شد، استفاده می‌شوند.

همچنین، (e) یک شبکه تشخیص معمول است. گردش کار نمونه‌برداری نزولی اغلب از شبکه طبقه‌بندی پیروی می‌کند. سپس، نقشه‌های ویژگی بالا نمونه‌برداری می‌شوند، ویژگی‌های چندمقیاسی به یک شبکه پیشنهاد ناحیه^۱ برای تولید پیشنهاد ناحیه تغذیه می‌شوند، و یک طبقه‌بندی ناحیه‌ای برای تعیین خروجی نهایی انجام می‌شود. در نهایت، (f) یک شبکه طبقه‌بندی است که گردش کار نمونه‌برداری نزولی را نشان می‌دهد. سپس، نقشه‌های ویژگی چندین بار نمونه‌برداری شده و با ویژگی‌های لایه کم‌عمق الحاق می‌شوند. نتایج نهایی براساس طبقه‌بندی پیکسلی بر روی بزرگ‌ترین نقشه ویژگی به دست آمده است. تمام مدل‌ها با پس‌انتشار بهینه‌سازی شده‌اند [۱۸].

۲-۱- طبقه‌بندی

هدف طبقه‌بندی، ارائه پیش‌بینی‌های گسسته برای طبقه‌بندی کل ورودی‌ها است. به عنوان مثال، عدد ۱ برای نشان دادن این که تصویر سینه، شامل سرطان است و عدد ۰ برای نشان دادن این که تصویر شامل سرطان نیست، استفاده می‌شود. یک مدل طبقه‌بندی می‌تواند به عنوان یک تابع نگاشت $f: X \rightarrow Y$ در نظر گرفته شود، که در آن X دامنه تصاویر یا ویژگی‌ها و $Y \in R$ معمولاً یک نمایش یک طرفه از وجود بیماری است. به طور رسمی، با توجه به X یک ورودی، Y خروجی هدف، و \hat{Y} خروجی مدل، مدل‌های طبقه‌بندی معمولاً با به حداقل رساندن آنتروپی متقاطع بین \hat{Y} و Y بهینه می‌شوند.

⁴ Visual Geometry Group (VGG)

⁵ Residual networks (ResNet)

⁶ Densely Connected Network (DenseNet)

¹ Region Proposal Network (RPN)

² Graphic processing unit (GPU)

³ Image Net challenge



۲-۲- تشخیص

هدف از تشخیص پیش‌بینی نتایج طبقه‌بندی منطقه‌ای، به عنوان مثال، رسم یک جعبه محدود کننده برای یک بدخیمی شناخته‌شده است. استفاده مجدد از $f: X \rightarrow Y$ به عنوان تابع نگاشت یک مدل تشخیص، X دامنه تصاویر باقی می‌ماند، در حالی که Y مجموعه‌ای از $\{(b, \gamma)\}$ با ناحیه γ و کلاس متناظر برای آن ناحیه است. قابل توجه است که $\{(b, \gamma)\}$ می‌تواند یک مجموعه تهی باشد اگر هیچ ناحیه مورد نظر (ROIs) در تصویر وجود نداشته باشد.

رایج‌ترین فرمولاسیون مورد استفاده b یک چهار برابر $\{u, v, w, h\}$ است که در آن u و v مرکز یک شیء را نشان می‌دهند و w و h به ترتیب وزن و ارتفاع را نشان می‌دهند. هدف تشخیص اغلب به عنوان وظایف هم‌نژاد شامل L_{els} از دست دادن طبقه‌بندی ناحیه‌ای و L_{loc} از دست دادن رگرسیون جعبه محدود، رسمیت می‌یابد؛ که در آن L_{els} معمولاً به صورت اتلاف آنروپی عرضی شکل می‌گیرد و یک ابرپارامتر موازنه کننده اتلاف است، و L_{loc} اغلب به صورت یک اتلاف $L1$ نرم به صورت زیر فرمول بندی می‌شود:

$$L_{loc} = \begin{cases} 0.5 \times (t - \hat{t})^2, & \text{if } |t - \hat{t}| < 1; \\ |t - \hat{t}| - 0.5, & \text{otherwise;} \end{cases} \quad (2)$$

جایی که \hat{t} پیش‌بینی مدل است، t نمایش مکان تبدیل شده بر اساس b برای رگرسیون منظم [۲۹] است، و $L1 - norm$ را نشان می‌دهد. همچنین گزینه‌های دیگری برای L_{els} (به عنوان مثال، از دست دادن کانونی^۱) و L_{loc} [۲۱] وجود دارد.

$$L = L_{els} + \lambda L_{loc} \quad (3)$$

مدل‌های تشخیص شیء اغلب از شبکه‌های طبقه‌بندی به خوبی آموزش دیده به عنوان استخراج کننده ویژگی استفاده می‌کنند. برای انجام پیش‌بینی ناحیه‌ای بر روی نقشه‌های ویژگی استخراج شده، تعداد قابل توجهی از معماری‌های یادگیری عمیق پیشنهاد شده‌اند و برخی از مدل‌های پرکاربرد در تصویربرداری سرطان سینه در اینجا پوشش داده شده‌اند. CNN - R Faster [۲۱] پیشنهادها (یعنی ویژگی‌های موضوع کاندید) را از شبکه عصبی کانولوشن از پیش آموزش دیده استخراج کرده و اجرا می‌کند و محلی سازی خانواده^۲ و وظایف طبقه‌بندی را انجام می‌دهد. در Faster R-CNN [۲۳] مفهوم لنگرها را با شبکه پیشنهاد منطقه معرفی می‌کند، که سرعت تشخیص را با جعبه‌های مرجع بر روی نقشه‌های ویژگی افزایش می‌دهد. به غیر از روش‌های دو مرحله‌ای ذکر شده که پیشنهادها را استخراج می‌کنند و سپس طبقه‌بندی و رگرسیون را هدایت می‌کنند، آشکارسازهای یک مرحله‌ای برای تسریع بیشتر سرعت استنباط، با نمایندگان کلاسیک مانند سری YOLO [۲۴] و RetinaNet [۲۵] پیشنهاد می‌شود.

۲-۳- قطعه‌بندی

قطعه‌بندی با هدف دادن پیش‌بینی‌های طبقه‌بندی پیکسلی انجام می‌شود، و سپس می‌توان کانتور اشیاء را ترسیم کرد. تقسیم‌بندی بر روی تصاویر دوبعدی در راستای عرض، ارتفاع، کانال و تعداد کلاس‌ها انجام می‌شود. اهداف تقسیم‌بندی تصاویر پزشکی، از دست دادن آنروپی عرضی به اندازه پیکسل و از دست دادن تاس^۳ است [۲۶]:

$$L = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^M \gamma_i \hat{\gamma}_i + \epsilon}{\sum_{i=1}^M \gamma_i^2 + \sum_{i=1}^M \hat{\gamma}_i^2 + \epsilon} \quad (4)$$

که در آن M تعداد کل پیکسل هاست، γ_i هدف پیکسل i ام است، $\hat{\gamma}_i$ پیش‌بینی پیکسل i ام است، و یک پارامتر بیش از حد برای پایداری عددی است. هدف γ در اینجا ماسک تصویر نیز نامیده می‌شود.

مدل‌های تقسیم‌بندی برای تصویربرداری پزشکی معمولاً از ساختار رمزگذار-رمزگشا پیروی می‌کنند که ابتدا تصویر ورودی را به ویژگی‌ها (به عنوان مثال، از طریق کانولوشن و ادغام) پایین می‌آورد و سپس نمونه‌برداری (مثلاً از طریق دکانولوشن و درون‌یابی)، ویژگی‌ها را به پیش‌بینی‌های پیکسلی تبدیل می‌کند. FCN [۲۷] ابتدا آن را به یک طبقه‌بندی کننده گروه هندسه بصری برای جداسازی تصویر معرفی کرد. U-Net [۲۸] فرآیند نمونه‌گیری بالا را به سطوح چندگانه درون‌یابی گسترش داده و سپس اتصالات صرف نظر شده بین مسیرهای رمزگذار و رمزگشا را برای غنی‌سازی جزئیات معرفی می‌کند. پس از آن، U-Net و انواع آن [۲۹] تقریباً بر حوزه جداسازی تصویر پزشکی تسلط دارند. به علاوه، برای جدا کردن نمونه‌های همپوشانی که به یک کلاس تعلق دارند، ابتدا پیشنهادات شیء را روی تصاویر تشخیص می‌دهد و سپس برای هر شیء شناسایی شده تقسیم‌بندی انجام می‌شود.

۲-۴- یادگیری عمیق

با توجه به در دسترس بودن داده‌ها و برچسب‌ها، گزینه‌های متنوعی از پارادایم‌های یادگیری عمیق برای اعمال مدل‌ها در سناریوهای مختلف وجود دارد. یادگیری با نظارت نیاز به این دارد که تمام نمونه‌های آموزشی دقیقاً به شکل خروجی‌های هدف (برای مثال، ماسک‌ها برای کار تقسیم‌بندی یا جعبه‌های محدود بندی برای کار تشخیص) برچسب گذاری شوند. یادگیری با نظارت رایج‌ترین شکل یادگیری عمیق است و بخش بزرگی از مطالعات بررسی شده در این مقاله در این دسته جای می‌گیرند. با این حال، یادگیری عمیق به شدت وابسته به داده است و برچسب زدن تصاویر پزشکی زمان‌بر و مبتنی بر تخصص است. از اینرو، یادگیری تحت نظارت ممکن است راه‌حل بهینه برای بسیاری از سناریوهای عملی تجزیه و تحلیل تصویر پزشکی نباشد. یادگیری تحت نظارت ضعیف^۴ زمانی اعمال می‌شود که برچسب داده‌شده در قالب خروجی هدفمند نباشد (به عنوان مثال، استفاده از علامت‌های سطح تصویر برای تشخیص یا تقسیم‌بندی). در تصویربرداری سرطان پستان،

³ Pixel wise cross entropy loss and the Dice loss

⁴ Weakly-Supervised Learning (WSL)

¹ Focal loss

² Sibling



روش‌های یادگیری با نظارت، نقشه فعال‌سازی کلاس^۱ [۳۰] و یادگیری چند نمونه‌ای^۲ [۲۲] هستند. از نقشه فعال‌سازی کلاس اغلب برای تشخیص ناهموار ضایعات هدف استفاده می‌شود، که به عنوان نقشه‌های ویژگی وزن دهی شده توسط گرادین‌های مربوطه محاسبه می‌شوند. مقادیر بالاتر در نقشه فعال‌سازی کلاس، نشان‌دهنده مناطقی است که سهم بیشتری در پیش‌بینی نهایی دارند. یادگیری چندنمونه‌ای، یک تصویر ورودی را به عنوان یک کیسه از نمونه‌ها (تکه‌های تصویر) در نظر می‌گیرد که تنها زمانی منفی است که همه نمونه‌ها منفی باشند. هدف یادگیری چند نمونه‌ای اغلب توسعه یک طبقه‌بندی‌کننده سطح کیفی است؛ که یک استراتژی کاملاً رایج در پردازش کل تصاویر پاتولوژی اسلاید است که از مقیاس پیکسل گیگا هستند. همانند نقشه فعال‌سازی کلاس، یادگیری چند نمونه‌ای را نیز می‌توان برای تعیین محل ضایعات با تأکید بر موارد بیشتر کمک شده مورد استفاده قرار داد.

۲-۵- یادگیری نیمه نظارت شده^۳

یادگیری نیمه‌نظارت شده می‌تواند به عنوان نوع دیگری از یادگیری تحت نظارت ضعیف در نظر گرفته شود، که استفاده از مقدار زیادی از داده‌های برچسب‌دار نشده همراه با داده‌های برچسب‌گذاری شده محدود را ممکن می‌سازد. روش‌های یادگیری نیمه‌نظارت شده مبتنی بر گراف، حداقل‌سازی آنتروپی، برچسب‌زدن کاذب، مدل‌سازی مولد، یا یادگیری سازگاری هستند. اخیراً، رویکردهای مبتنی بر سازگاری موفقیت بزرگی را در یادگیری نیمه‌نظارت شده نشان داده‌اند، که تنظیم مدل را تزریق می‌کند که پیش‌بینی‌های نسخه‌های اختلالی مختلف یک مدل باید سازگار باقی بمانند.

۲-۶- یادگیری بدون نظارت

یادگیری بدون نظارت، داده‌های بدون برچسب را برای آموزش مدل پوشش، اغلب با هدف خوشه‌بندی یا کاهش ابعاد، به کار می‌برد. در ادبیات تحلیل تصویر سرطان سینه مبتنی بر یادگیری عمیق، دو جهت اصلی در یادگیری بدون نظارت مدل‌سازی مولد و یادگیری خودنظارتی، توجه تحقیق را به خود جلب کرده‌است. اولی از روش‌های تولیدی مانند شبکه رقیب تولیدی^۴ [۲۳] برای مدل‌سازی توزیع داده و تولید نمونه‌های جدید استفاده می‌کند که اغلب در یادگیری نیمه‌نظارت شده نیز استفاده می‌شود. یادگیری خودنظارتی، یک شبکه عصبی را بر روی تصاویر بدون برچسب آموزش می‌دهد تا نمایش را برای وظایف پایین دست تحت-نظارت یادبگیرد [۲۴]. یادگیری خودنظارتی قدرت قابل توجهی را در کاهش نیاز به مقدار زیادی از داده‌های برچسب‌گذاری شده پایین دستی نشان داده است، که در تحلیل تصاویر پزشکی نویدبخش است.

هدف از یادگیری انتقال، انتقال دانش آموخته شده در یک دامنه منبع به دامنه هدف است، که به ویژه زمانی مفید است که دامنه هدف داده‌های زیادی ندارد. یک استراتژی یادگیری انتقال رایج در

تصویربرداری پزشکی، پیش آموزش شبکه‌ها بر روی مجموعه داده‌های تصویر طبیعی در مقیاس بزرگ، مانند شبکه تصویری است [۲۰]. اخیراً، تطبیق دامنه [۲۵] و تعمیم دامنه [۲۶] نیز توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، که شکاف‌های بین دامنه منبع و دامنه هدف را کاهش می‌دهد. هدف یادگیری چندوجهی، پردازش و خلاصه کردن اطلاعات از دیدگاه‌ها و روش‌های مختلف یک موضوع است. با در نظر گرفتن فرآیند معاینه سرطان سینه به عنوان مثال، داده‌های چندوجهی از ماموگرام، سونوگرافی، ام‌آر‌آی تا تصاویر پاتولوژی را می‌توان تولید کرد و با یکدیگر مورد استفاده قرار داد. داده‌های چندوجهی می‌توانند اطلاعات غنی و تکمیلی را از میکروسکوپ به میکروسکوپ فراهم کنند. لازم به ذکر است که داده‌های چند وجهی را نیز می‌توان با یک نوع از تکنیک‌های تصویربرداری، مانند ماموگرام‌های چندنمایی یا ام‌آر‌آی‌های چند توالی، به دست آورد. به طور معمول در تصویربرداری پستان، یادگیری چند-وجهی بر استراتژی‌های ترکیب اطلاعات تمرکز می‌کند که عمدتاً شامل ترکیب اولیه (یعنی اطلاعات در سطح ورودی)، ترکیب مشترک (یعنی در سطح ویژگی) و ترکیب اخیر (یعنی در سطح تصمیم) می‌باشد.

۳- کاربردهای یادگیری عمیق در سرطان پستان

در اینجا مروری مختصر بر کاربردهای مبتنی بر یادگیری عمیق در تصویربرداری سرطان سینه ارائه می‌شود.

۳-۱- غربالگری و تشخیص

هدف از غربالگری یافتن بیماران خارج از گروه مورد بررسی و تشخیص، توصیف دقیق‌تری از وضعیت بیماران است. غربالگری اغلب براساس ماموگرام‌های در مقیاس جمعیتی است و تشخیص از دیگر روش‌های تصویربرداری استفاده می‌کند. با این حال، هیچ علامت‌گذاری روشی بین دو وظیفه در زمینه یادگیری عمیق وجود ندارد؛ زیرا تعداد زیادی از مطالعات بر روی تعیین بدخیمی از موضوعات نرمال یا خوش خیم تمرکز می‌کنند. از این رو ما غربالگری و تشخیص سرطان پستان مبتنی بر یادگیری عمیق را در یک بخش ترکیبی معرفی می‌کنیم.

۳-۲- غربالگری و تشخیص مبتنی بر ماموگرام

طبقه‌بندی: به عنوان یک روش معمول غربالگری سرطان پستان، ماموگرام‌ها اغلب برای طبقه‌بندی دوگانه (به عنوان مثال بدخیم در مقابل خوش خیم/نرمال/غیربدخیم) یا طبقه‌بندی سه طبقه‌ای (بدخیم، خوش خیم، نرمال) مورد مطالعه قرار می‌گیرند. مطالعات همچنین سعی در تشخیص انواع مختلف ضایعات مانند توده یا اعوجاج معماری، میزان تراکم سینه، و یا میزان خطر سرطان داشتند. مطالعات اولیه بر ویژگی‌های دست‌ساز به عنوان ورودی به شبکه عصبی متکی بودند [۲۷ و ۲۸]. با موفقیت قابل توجه آن‌ها در تجزیه و تحلیل تصاویر طبیعی [۲۰]، از شبکه عصبی کانولوشن به عنوان یک استخراج‌کننده ویژگی

³ Semi-supervised learning (SSL)

⁴ generative adversarial network (GAN)

¹ Class Activation Map (CAM)

² Multiple Instance Learning (MIL)



احتمال وقوع انواع مختلف ضایعات است به کار می‌رود [۱۰]. همچنین یک روش تشخیص سرطان را برای ترکیب دیجیتال ماموگرافی سه‌بعدی با جمع‌آوری پیش‌بینی‌های دو بعدی در نتایج سه‌بعدی پیشنهاد کردند [۱۴]. لازم به ذکر است که نقشه ویژگی استخراج شده از یک شبکه طبقه‌بندی نیز می‌تواند برای مکان‌یابی ضایعات توسط نقشه فعال‌سازی کلاس یا مکانیزم توجه به شیوه‌ای با نظارت ضعیف مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، ارزیابی‌های کمی اغلب برای این مطالعات وجود ندارد، و نقشه‌های توجه برای هدف تفسیر کیفی استفاده می‌شوند [۱۷ و ۱۸]. یک مطالعه اخیر نیز استفاده از ویژگی‌های میانی و نقشه فعال‌سازی کلاس را به عنوان شبه‌لیل برای آموزش یک مدل تشخیص پیشنهاد داده است [۱۹].

۳-۳- قطعه‌بندی

قطعه‌بندی، ترسیم کانتور را برای توصیف دقیق‌تر ضایعه، فراهم می‌کند، که اغلب به مقدار قابل‌توجهی از علامت‌های پیکسل توسط رادیولوژیست‌های مجرب برای آموزش مدل نیاز دارد. مطالعات کمی در مورد تقسیم‌بندی جرم از ماموگرام‌ها وجود دارد که براساس ساختارهای اصلاح‌شده یا ساختارهای U-Net مشابه است [۱۰]. یک مطالعه مقایسه‌ای بر روی مدل‌های مختلف قطعه‌بندی در [۱۱] انجام شده است.

۳-۴- وظایف چندگانه

برخی مطالعات تلاش کردند تا ماژول‌ها را برای وظایف مختلف ادغام کنند تا چارچوب‌های تشخیص به کمک کامپیوتر^۱ چند منظوره را ایجاد کنند. یک راه ساده برای یک سیستم تشخیص به کمک کامپیوتر چندوظیفه، آموزش مجموعه‌ای از مدل‌های خاص وظیفه است [۱۲]، که در آن مطالعات اغلب براساس راه‌حل‌های موجود برای هر وظیفه هستند. شبکه‌های تشخیص شی، مانند Faster R-CNN، Mask R-Net و YOLO نیز برای انجام هر دو طبقه‌بندی و تشخیص با توجه به ماهیت یادگیری چندوظیفه‌ای خود اتخاذ شده‌اند. همانطور که اشاره شد، مدل‌های طبقه‌بندی می‌توانند برای استخراج نتایج تشخیص به شیوه‌ای با نظارت ضعیف استفاده شوند [۵، ۶]. علاوه بر این، مدل‌های چندوظیفه‌ای یکپارچه در مقالات پیشنهاد شده‌اند، به عنوان مثال، ترکیب طبقه‌بندی با تشخیص [۷] یا تقسیم‌بندی [۸] به کار می‌رود.

۳-۵- دیگر تکلیف‌ها

بسیاری از مطالعات بیش از توسعه روش‌های خاص، برای وظایف پایه ذکر شده هدف‌گذاری می‌کنند. یک مطالعه مقایسه‌ای از عملکرد طبقه‌بندی ماموگرام، بین یک مدل یادگیری عمیق و رادیولوژیست، ارائه داده است. در آن مقایسه مدل عملکرد سیستم تشخیص به کمک کامپیوتر در مقایسه با میانگین رادیولوژیست‌ها بهتر عمل کرده است [۷]. در ادامه، تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند که مدل‌های یادگیری عمیق می‌توانند به بهبود عملکرد رادیولوژیست‌ها کمک کنند [۱۹]. مطالعه

قدرتمند در ترکیب با دیگر طبقه‌بندی‌کننده‌های یادگیری ماشین مانند ماشین‌بردار پشته‌بندی و جنگل تصادفی [۲۹] استفاده شده‌است. از آنجا که داده‌های پزشکی اغلب در مقیاس محدود هستند، برخی کارها شبکه‌های موجود را با وزن‌های از پیش آموزش‌دیده از شبکه‌تصویری به مجموعه داده‌های ماموگرام منتقل کرده‌اند. یک مطالعه مقایسه‌ای بر روی عملکرد طبقه‌بندی ماموگرام شبکه‌های مختلف در [۲۲] گزارش شده‌است. مقایسه کارایی طبقه‌بندی مبتنی بر ماموگرافی (با استفاده از گروه هندسه بصری دوبعدی) و مدل‌های طبقه‌بندی مبتنی بر ترکیب دیجیتال ماموگرافی (با استفاده از گروه هندسه بصری سه‌بعدی) در [۲۳] گزارش شده‌است. علاوه بر استفاده مستقیم از مدل‌های در دسترس، مطالعات بیشتر به دنبال روش‌های موثرتر انتقال یادگیری برای بهبود فرآیند یادگیری پیش از آموزش و استفاده کامل از دانش آموخته‌شده از مجموعه داده‌های پیش از آموزش بودند.

یادگیری چندنمونه‌ای نقش مهمی در طبقه‌بندی مبتنی بر ماموگرام ایفا کرده‌است، زیرا ضایعات اغلب پراکنده هستند. یک خط از کارها بر توسعه دسته‌بندی‌کننده یادگیری چندنمونه‌ای با استراتژی‌های تجمع مختلف برای خلاصه کردن نقشه ویژگی نهایی یک مدل شبکه عصبی کانولوشن متمرکز بود. برخی کارها از یک طبقه‌بندی‌کننده دوبعدی برای چندنمونه‌ای برای پیش‌بینی سه‌بعدی نهایی استفاده کردند [۳۰]. بخش بزرگی از مطالعات یادگیری پیش‌بینی سطح بیمار را از تصاویر ورودی چندگانه پیشنهاد کردند. دیدگاه‌های چندگانه (به عنوان مثال، دیدگاه‌های کرانیکودال دو طرفه، دیدگاه‌های مایل مدیولترال، و غیره) اغلب برای بررسی دقیق‌تر تولید می‌شوند. بنابراین روش‌های مختلف ترکیب ویژگی چند دیدگاهی پیشنهاد شده‌اند، که عمدتاً بر توسعه استخراج‌کنندگان ویژگی برای تولید نمایش‌های معنادار از لحاظ معنایی یا استفاده از استراتژی‌ها برای استنتاج نتایج نهایی براساس ویژگی‌های ناهمگن تمرکز دارند. از سوی دیگر، تلاش شده تا اطلاعات تصویر غربالگری شده قبلی (یعنی ماموگرام قبلی) و تصویر بررسی شده فعلی (یعنی ماموگرام فعلی) را برای طبقه‌بندی بدخیمی ترکیب کنند [۲۴]. یادگیری چندوظیفه‌ای نیز به منظور افزایش عملکرد طبقه‌بندی با نظارت بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌است [۲۶]. قابل‌ذکر است که ورودی‌های یادگیری چند وظیفه‌ای و چند دیدگاهی می‌تواند اطلاعات ارائه‌شده به مدل را غنی کنند، و این دو استراتژی می‌توانند به طور همزمان ادغام شوند [۲۷].

تشخیص برخورد می‌تواند محل و نوع تومور را مشخص کند و توسعه بیشتر سرطان را تعیین کند. تشخیص سرطان دو مرحله‌ای به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، که در آن، نامزدهای آسیب دست‌ساز یا شبکه بخش‌بندی شده به یک شبکه طبقه‌بندی برای کاهش مثبت کاذب تبدیل شدند. مطالعات همچنین آشکارسازهای انتها به انتها، را اتخاذ کردند، که به عنوان ورودی کل تصویر ماموگرافی و مختصات جعبه‌مرزی خروجی برای ضایعات با امتیازهایی که نشان‌دهنده

¹ Computer-aided detection (CAD)

۵- نتیجه گیری

سرطان سینه به بدترین بدخیمی در سراسر جهان تبدیل شده است و تصویربرداری پستان نقش مهمی در غربالگری، تشخیص، پیش‌بینی پاسخ به درمان و پیش‌آگهی سرطان سینه ایفا می‌کند. با پیشرفت چشمگیر تحقیقات یادگیری عمیق، مطالعات نوظهوری برای استفاده از روش‌های یادگیری عمیق برای مقابله با سرطان سینه انجام شده است. غربالگری و تشخیص به طور خاص، توجه جامعه یادگیری عمیق را به خود جلب کرده است. یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد که این مطالعات تا حد زیادی با داده‌های موجود، به‌ویژه آن‌هایی که برای عموم منتشر می‌شوند، تعیین می‌شوند. همچنین تشخیص زودهنگام می‌تواند تاثیر زیادی در روند درمان و دستیابی سریعتر به سلامت را به دنبال داشته باشد و باعث کاهش چشمگیر مرگ و میرها شود. با بحث در مورد چالش‌ها و کاوش در جهت‌های بالقوه آینده، امیداست، بینش‌های جدیدی برای الهام بخشیدن به خوانندگان ارائه شده باشد. تا تلاش‌های بیشتری را برای توسعه نسل بعدی مدل‌های مراقبت سلامت قابل اعتماد برای سرطان سینه و همچنین سایر بیماری‌ها انجام شود.

مراجع

- [1] J. Wang and S.-G. Wu, "Breast Cancer: An Overview of Current Therapeutic Strategies, Challenge, and Perspectives," *Breast Cancer: Targets and Therapy*, vol. 15, pp. 721–730, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.2147/bctt.s432526>.
- [2] A. N. Giaquinto et al., "Breast Cancer Statistics, 2022," *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 72, no. 6, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.3322/caac.21754>.
- [3] H. Sung et al., "Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries," *CA: a Cancer Journal for Clinicians*, vol. 71, no. 3, pp. 209–249, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.
- [4] M. B. Amin et al., "The Eighth Edition AJCC Cancer Staging Manual: Continuing to build a bridge from a population-based to a more 'personalized' approach to cancer staging," *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 67, no. 2, pp. 93–99, Jan. 2017, doi: <https://doi.org/10.3322/caac.21388>.
- [5] L. Nyström, I. Andersson, N. Bjurstam, J. Frisell, B. Nordenskjöld, and L. E. Rutqvist, "Long-term effects of mammography screening: updated overview of the Swedish randomised trials," *The Lancet*, vol. 359, no. 9310, pp. 909–919, Mar. 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(02\)08020-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(02)08020-0).
- [6] J. Didkowska and Urszula Wojciechowska, "WHO position paper on mammography screening," vol. 11, no. 1, pp. 16–19, Jan. 2015.
- [7] M. G. Marmot, D. G. Altman, D. A. Cameron, J. A. Dewar, S. G. Thompson, and M. Wilcox, "The benefits and harms of breast cancer screening: an independent review," *British Journal of Cancer*, vol. 108, no. 11, pp. 2205–2240, Jun. 2013, doi: <https://doi.org/10.1038/bjc.2013.177>.

که یک الگوریتم را در چندین دستگاه غیرمترکز یا سرورهای نگهدارنده نمونه داده‌های محلی، بدون مبادله آنها آموزش می‌دهد.

اخیر همچنین نشان داد که یادگیری عمیق از عملکرد الگوریتم‌های پیش‌بینی ریسک پیشی گرفته است [۲]. علاوه بر این، مدل‌های عمیق قادر به غربالگری ماموگرام‌ها براساس جمعیت‌های بزرگ یا حتی بین‌المللی [۱۳] و یافتن موضوعات پرخطر برای بررسی بیشتر توسط رادیولوژیست‌ها هستند [۵]. تعداد رو به افزایشی از کارها برای بهبود استحکام مدل‌های یادگیری عمیق برای ماموگرام‌ها در جنبه‌های برچسب‌نویزدار [۱۱]، تعمیم دامنه‌خارجی [۲۰] و تفسیرپذیرکردن مدل‌ها [۲۲] تلاش کرده‌اند. برای کاهش عوارض جانبی بالقوه ناشی از فرآیند تصویربرداری اضافی، مطالعات اخیر همچنین تلاش‌هایی را در سنتز ماموگرام‌ها انجام داده‌اند [۱۳].

۴- چالش‌ها و مسیرهای آینده

داده‌های آموزشی در مقیاس بزرگ، کلید موفقیت یادگیری عمیق است. در [۲۲] تلاش‌هایی برای دسترسی به داده‌های مقیاس بزرگ‌تر برای اهداف تحقیقاتی صورت گرفت، با این حال، بیشتر مجموعه داده‌های عمومی موجود، به‌ویژه روش‌های غیر از ماموگرافی، در مقیاس نسبتاً کوچک هستند. این یک عامل بالقوه است که مانع استحکام و تعمیم‌پذیری مدل‌های تحلیل سرطان پستان مبتنی بر یادگیری عمیق می‌شود. یک جهت قابل قبول برای بزرگتر کردن داده‌های آموزشی و درعین‌حال محافظت از حریم خصوصی بیماران، یادگیری فدرال^۱ با همکاری چندین موسسه است. یادگیری فدرال اجازه می‌دهد تا به طور مشترک مدل‌های یادگیری عمیق را بدون به اشتراک گذاشتن داده‌ها بین شرکت‌کنندگان آموزش دهید، که در عین حفظ حریم خصوصی بیمار، همکاری بین مشتریان را ممکن می‌سازد.

داده‌های مصنوعی یکی دیگر از گزینه‌های بالقوه است. یک کار پیشگام اخیر ۲۰۰۰ تصویر آسیب‌شناسی مصنوعی را برای مطالعات تقسیم بندی هسته‌ها ارائه کرد [۲۳]. چالش دیگری که به طور طبیعی از داده‌های آموزشی محدود ایجاد می‌شود، توانایی تعمیم محدود مدل توسعه‌یافته، مانند نتایج گزارش شده توسط [۱۶] است. رویکردهای موجود عمدتاً مبتنی بر یادگیری بازنمایی‌های ثابت از داده‌های چند منبعی هستند. یک مطالعه اخیر همچنین نشان داد که حاشیه‌نویسی‌های ریز می‌توانند تعمیم‌پذیری مدل را بدون درگیرکردن داده‌های آموزشی از منابع متعدد بهبود بخشند [۲۶]. شایان ذکر است که شکاف‌های دامنه به طور کلی در سناریوهای یادگیری فدرال نیز وجود دارد، که در آن داده‌های ارائه شده توسط هر مشتری به طور طبیعی ناهمگن هستند. با توسعه روش‌های تصویربرداری پزشکی، داده‌های تصویربرداری جدید نیز ظاهر می‌شوند، که در مقایسه با روش‌های مورد مطالعه گسترده، روش‌های جدید به انطباق بیشتر با الگوریتم‌های یادگیری عمیق فعلی نیاز دارند.

^۱ یادگیری فدرال (Federated learning) که به عنوان یادگیری مشارکتی (collaborative learning) نیز شناخته می‌شود. یک روش یادگیری ماشین است



- [22] Enabling histopathological annotations on immunofluorescent images through virtualization of hematoxylin and eosin
- [23] W. M. Hanna et al., "HER2 in situ hybridization in breast cancer: clinical implications of polysomy 17 and genetic heterogeneity," *Modern Pathology*, vol. 27, no. 1, pp. 4–18, Jun. 2014, doi: <https://doi.org/10.1038/modpathol.2014.103>.
- [24] A. S. Coates et al., "Tailoring therapies—improving the management of early breast cancer: St Gallen International Expert Consensus on the Primary Therapy of Early Breast Cancer 2015," *Annals of Oncology*, vol. 26, no. 8, pp. 1533–1546, Aug. 2015, doi: <https://doi.org/10.1093/annonc/mdv221>.
- [25] S. J. Magny, R. Shikhman, and A. L. Keppke, "Breast Imaging Reporting and Data System," PubMed, 2022. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459169/>
- [26] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep Learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, May 2015, doi: <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
- [27] G. Litjens et al., "A Survey on Deep Learning in Medical Image Analysis," *Medical Image Analysis*, vol. 42, no. 1, pp. 60–88, Dec. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>.
- [28] E. J. Topol, "High-performance medicine: the Convergence of Human and Artificial Intelligence," *Nature Medicine*, vol. 25, no. 1, pp. 44–56, Jan. 2019.
- [29] J. Bai, R. Posner, T. Wang, C. Yang, and S. Nabavi, "Applying deep learning in digital breast tomosynthesis for automatic breast cancer detection: A review," *Medical Image Analysis*, vol. 71, p. 102049, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.media.2021.102049>.
- [30] A. Duggento, A. Conti, A. Mauriello, M. Guerrisi, and N. Toschi, "Deep computational pathology in breast cancer," *Seminars in Cancer Biology*, vol. 72, pp. 226–237, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2020.08.006>.
- [8] A. Chong, S. P. Weinstein, E. S. McDonald, and E. F. Conant, "Digital Breast Tomosynthesis: Concepts and Clinical Practice," *Radiology*, vol. 292, no. 1, pp. 1–14, Jul. 2019, doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2019180760>.
- [9] J. J. Wild and D. Neal, "Use of high-frequency ultrasonic waves for detecting changes of texture in living tissues.," *The Lancet*, vol. 257, no. 6656, pp. 655–657, Mar. 1951, doi: [10.1016/S0140-6736\(51\)92403-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(51)92403-8).
- [10] C. M. Sehgal, S. P. Weinstein, P. H. Arger, and E. F. Conant, "A Review of Breast Ultrasound," *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, vol. 11, no. 2, pp. 113–123, Nov. 2006, doi: <https://doi.org/10.1007/s10911-006-9018-0>.
- [11] R. J. Hooley, L. M. Scoutt, and L. E. Philpotts, "Breast Ultrasonography: State of the Art," *Radiology*, vol. 268, no. 3, pp. 642–659, Sep. 2013, doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.13121606>.
- [12] A. Kapur et al., "Combination of Digital Mammography with Semi-automated 3D Breast Ultrasound," vol. 3, no. 4, pp. 325–334, Aug. 2004, doi: <https://doi.org/10.1177/153303460400300402>.
- [13] W. A. Berg, "Combined Screening With Ultrasound and Mammography vs Mammography Alone in Women at Elevated Risk of Breast Cancer," *JAMA*, vol. 299, no. 18, p. 2151, May 2008, doi: <https://doi.org/10.1001/jama.299.18.2151>.
- [14] L. C. H. Leong, A. Gogna, R. Pant, Fook Cheong Ng, and L. S. J. Sim, "Supplementary Breast Ultrasound Screening in Asian Women with Negative But Dense Mammograms—A Pilot Study," *Annals, Academy of Medicine, Singapore/Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, vol. 41, no. 10, pp. 432–439, Oct. 2012, doi: <https://doi.org/10.47102/annals-acadmedsg.v41n10p432>.
- [15] C. M. Sehgal, P. H. Arger, S. E. Rowling, E. F. Conant, C. Reynolds, and J. A. Patton, "Quantitative vascularity of breast masses by Doppler imaging: regional variations and diagnostic implications.," *Journal of Ultrasound in Medicine*, vol. 19, no. 7, pp. 427–440, Jul. 2000, doi: <https://doi.org/10.7863/jum.2000.19.7.427>.
- [16] W. A. Berg, "Combined Screening With Ultrasound and Mammography vs Mammography Alone in Women at Elevated Risk of Breast Cancer," *JAMA*, vol. 299, no. 18, p. 2151, May 2008, doi: <https://doi.org/10.1001/jama.299.18.2151>.
- [17] A. Kalovidouri et al., "Fat suppression techniques for breast MRI: Dixon versus spectral fat saturation for 3D T1-weighted at 3 T," *La radiologia medica*, vol. 122, no. 10, pp. 731–742, Jun. 2017, doi: <https://doi.org/10.1007/s11547-017-0782-2>.
- [18] M. A. Bernstein and K. F. King, "Handbook of MRI Pulse Sequences by Matt A. Bernstein, Kevin F. King & Xiaohong Joe Zhou Engineering," Sep. 2004.
- [19] M.-Y. Su et al., "Correlation of dynamic contrast enhancement MRI parameters with microvessel density and VEGF for assessment of angiogenesis in breast cancer," vol. 18, no. 4, pp. 467–477, Oct. 2003, doi: <https://doi.org/10.1002/jmri.10380>.
- [20] Y. Gao and S. L. Heller, "Abbreviated and Ultrafast Breast MRI in Clinical Practice," *RadioGraphics*, vol. 40, no. 6, pp. 1507–1527, Oct. 2020, doi: <https://doi.org/10.1148/rg.2020200006>.
- [21] E. Duregon et al., "Comparative diagnostic and prognostic performances of the hematoxylin-eosin and phosphohistone H3 mitotic count and Ki-67 index in adrenocortical carcinoma," *Modern Pathology*, vol. 27, no. 9, pp. 1246–1254, Jan. 2014, doi: <https://doi.org/10.1038/modpathol.2013.230>.



Interaction between biological tissues and extremely low frequency fields

Asmae Lak^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Boushehr Branch, Islamic Azad University, Boushehr, Iran
lak.asmae@gmail.com

Abstract: Studing biological effects of electromagnetic fields is an attractive subject for researchers all of the world. The extremely low frequency fields frequency band (0-3KHz) is very applicable in the human life because of its benefits and utilizations. In this paper it is tried to investigate the biological effects of extremely low frequency fields (50/60 Hz) on biological effects of electromagnetic fields. It is due to computers, shavers, TVs, hair dryers and other low frequency devices. Some systems and equipment such as high voltage transmission lines are extremely low frequency fields sources too. The effects of these sources are divided into thermal and non-thermal which in turn focus on micronucleus formation, DNA strand, chromosome effects, enzyme activity, cell proliferation, leukemia, effects on memory and learning, brain tumor and effects on nervous system. Some exposure standard limits are introduced from IEEE and ICNIRP. Also, standard values and protection for human safety against extremely low frequency fields are proposed.

Keywords: Electric Fields, Magnetic Fields, Biological Effects, Extremely Low Frequency.

JCDSA, Vol. 2, No. 6, Summer 2024
Received: 2024-08-16

Online ISSN: 2981-1295
Accepted: 2024-09-17

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcda>
Published: 2024-09-22

CITATION

Lak, A., " *Interaction between biological tissues and extremely low frequency fields* ", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 2, No. 6, pp. 50-62, 2024.
DOI: 00.00000/0000

COPYRIGHTS



©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

* Corresponding author

Extended Abstract

Introduction

Today's electronic devices which are extremely low frequency fields sources have an important role in human life. On the other hand, users are concerned about the biological effects of extremely low frequency fields sources. The most extremely low frequency fields sources work at 50/60 Hz, so nearly all of electronic devices around us operate in these frequencies. The effects of extremely low frequency fields divide into thermal and non-thermal effects. The extremely low frequency fields are in the non-ionization group. Thermal effects are in two kinds: dielectric thermal and induced thermal. Because of the importance of the probable biological effects, the researchers of the entire world try to find these effects. Also, the standard institutes provide the limited exposure values to protect humans from the extremely low frequency fields sources. In this paper, it is tried to investigate the biological effects of extremely low frequency fields on living beings' tissues (50/60 Hz) for example computers, shavers, TVs, hair dryers and other low frequency devices. Some systems and equipment such as high voltage transmission lines are extremely low frequency fields sources too. Some of the biological effects are micronucleus formation, DNA strand, chromosome effects, enzyme activity, cell proliferation, leukemia, effects on memory and learning, brain tumor and effects on nervous system. Some exposure standard limits are introduced from IEEE and ICNIRP standards to human safety and protection from extremely low frequency fields sources and voltages. Also, to protect from extremely low frequency fields probable hazards, some cases are proposed.

Methodology

The main method in this research is a systematic review of biological effects of fields and their mechanism from about 80 researches. In this paper, the collections of the mechanisms and probable effects of extremely low frequency fields on the human body are provided. The information from the researches has been investigated from the thermal or non-thermal effects, cellular or organ and other divisions' points of view. So the data are analyzed from 1974 to 2024. To classify the effects, some of the effects' theses, papers, sites and related book chapters were studied. For standard value limitations, two guidelines were used; IEEE and ICNIRP. In the extremely low frequency fields field band, the parameter which was surveyed are Electric and Magnetic density. Thus, in this paper, some of the value standards for extremely low frequency fields exposure are presented from the references.

Results and discussion

To find the biological effects of extremely low frequency fields on living being systems, many researches are studied. The *in vivo* and *in vitro* experiments show that the biological effects are micronucleus formation, single and double DNA strand, chromosome effects, enzyme activity, cell proliferation, leukemia, effects on memory and

learning, brain tumor and effects on nervous system. Table 1 shows the summary of the threshold of effects in mA/m² at 3-300 Hz. For $I > 1000$ mA/m², ventricular contractions and health hazards may happen. Because of the dielectric properties of body tissues, they can interact with them. Study on cellular level shows that micronucleus formation, DNA strand, chromosome effects, enzyme activity and cell proliferation are the biological effects at power frequency fields. The indirect effects of extremely low frequency fields are in Table 2. Electric shock is one of the effects. Table 4 shows the reference values of ICNIRP standards for public and occupational environments at 50 Hz for Electric and Magnetic mass density. Also, the other effects, i.e. leukemia, effects on memory and learning, brain tumor and effects on nervous system are reported. Also, to reduce the biological effects of extremely low frequency fields, some points should be observed. For example, the fence around the sources should be provided and respect the distance from powerlines and the other mentioned in the paper.

Conclusion

By the growing use of electronic devices and the facilities of it in human life and on the other hand, biological effects of them (because they are electromagnetic fields sources) which are mentioned in this paper, the investigations and evaluations for reduction of these field sources' effects or removal of them is inevitable. However, by consideration of the protective points and limited exposure values which are proposed in the paper, we can reduce the probable biological effects from extremely low frequency fields. It is essential that biologists and engineers should work with each other tightly and jointly to study the health aspects and engineering aspects and detect the thresholds of dangers carefully. Also, the thresholds of dangers or limited standard values should be notified to the people to guarantee public health, care for themselves and reduction of biological effects.





برهمکنش بافت‌های بیولوژیکی و امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین

اسما لک^{*۱}

۱- گروه مهندسی برق، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران (lak.asma@gmail.com)

چکیده: بررسی اثرات بیولوژیکی میدان‌های الکترومغناطیسی یک موضوع جذاب برای محققین در سرتاسر دنیا می‌باشد. باند فرکانسی امواج فرکانس خیلی پایین، صفر تا ۳۰ کیلوهرتز می‌باشد که برای زندگی انسان بسیار پرکاربرد و مفید است. در این مقاله تلاش می‌شود اثرات بیولوژیکی حاصل از امواج فرکانس پایین ۵۰ و ۶۰ هرتز روی بافت‌های بیولوژیکی موجودات زنده بررسی شود. این منابع شامل کامپیوتر، ریش تراش، ششوار و سایر وسایل الکترونیکی و همچنین برخی سیستم‌ها و تجهیزات مانند خطوط انتقال ولتاژ نیز از منابع فرکانس پایین می‌باشند. این آثار شامل اثرات گرمایی و غیرگرمایی است که خود به مسائلی مانند اثر بر تشکیل میکرونوکلیوس، اثر بر کروموزوم، فعالیت آنزیم، تکثیر سلول، سرطان خون، اثر روی حافظه و یادگیری، شکسته شدن DNA و اثر روی سیستم عصبی می‌پردازد. برخی استانداردهای مجاز تابش نیز مانند IEEE و ICNIRP معرفی شده است. همچنین مقادیر استاندارد و نکات پیشگیرانه برای حفاظت در مقابل این امواج و حفظ سلامت انسان بیان شده است.

واژه‌های کلیدی: میدان‌های الکتریکی، میدان‌های مغناطیسی، اثرات بیولوژیکی، فرکانس پایین

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

مانند خطوط انتقال سر و کار دارند، مرتباً تحت تابش میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس پایین هستند. بنابراین باید برای حفظ سلامتی آنها بررسی‌های لازم صورت گرفته و استانداردهای پرتوگیری را رعایت نمود [۲، ۳]. شکل (۳) نیز برهم‌کنش بین میدان‌های داخلی و خارجی بدن انسان را نشان می‌دهد. مطالعات زیادی برای بررسی میزان اثرات مثبت و منفی امواج الکترومغناطیسی بر بدن موجودات زنده به صورت اپیدمیولوژیکی، جانوری در شرایط طبیعی (بافت زنده) و مصنوعی (در آزمایشگاه)، پزشکی، شغلی و ... انجام شده است [۴-۸]. اثر میدان‌های الکترومغناطیسی بر موجودات زنده بر اساس القای بارهای الکتریکی و در نتیجه‌ی آن جریان‌های الکتریکی در موجودات تحت تابش است که شامل اثرات گرمایی و غیرگرمایی است [۹]. اثرات غیرگرمایی غالباً اثرات تحریک الکتریکی نامیده می‌شود و شامل تحریک عصبها و بافت‌های عضلانی است که از طریق جریان‌های الکتریکی القا شده در موجود تحت تابش به وجود می‌آیند و به مقدار جریان و فرکانس و مدت زمان تابش بستگی دارد [۱۰، ۱۱]. اثرات نسبتاً بزرگتر، در فرکانس‌های پایین‌تر و اثرات نسبتاً کمتر در فرکانس‌های بالاتر مشاهده می‌شود. در فرکانس‌های بالاتر از حدود چندین کیلوهرتز اثر تحریک با فرکانس رابطه عکس دارد. اثرات گرمایی با تبدیل میدان الکترومغناطیسی جذب شده در بدن موجودات زنده به گرما ایجاد می‌شوند. همچنین بسته به اینکه گرما از طریق میدان الکتریکی یا مغناطیسی ایجاد شده، گرمایش به دو نوع دی الکتریکی و القایی تقسیم می‌شود [۱۲].

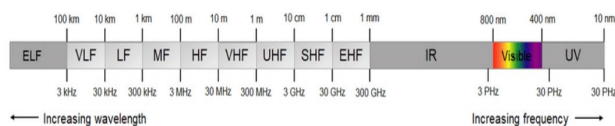
۱- مقدمه

امروزه، استفاده از ابزاری که در آنها منابع تشعشع میدان‌های الکترومغناطیسی وجود دارد، نقش مهمی در زندگی بشر دارد. اما همزمان با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از این ابزارها نگرانی‌هایی نیز برای کاربران به جهت تاثیر این امواج بر سلامتی آنها به وجود آمده است. از حدود صد سال پیش ابتدا خطوط انتقال توان و سپس دستگاه‌های الکترونیکی پرکاربرد در منازل و محیط کار مانند بخاری برقی، تلویزیون، جاروبرقی، کامپیوتر و خشک‌کننده‌ها در فرکانس‌های ۵۰/۶۰ هرتز استفاده شده و کار می‌کنند. این فرکانس‌ها جزء طیف امواج فرکانس خیلی پایین^۱ (شکل (۱)) هستند. با گسترش صنعت برق اهمیت میدان‌های حاصل از این ابزار و سیستم‌ها در مقایسه با میدان‌های داخلی طبیعی بدن بیشتر شده است. اندام‌های بدن دارای جریان‌های داخلی و به تبع آن میدان‌های داخلی هستند که نقش کلیدی در مکانیزم‌های پیچیده کنترل فیزیکی، فعالیت‌های عصبی، رشد بافت‌ها و ترمیم آنها می‌باشد، لذا بررسی اثرات این میدان‌های خارجی باید بیشتر مطالعه شود. خطوط انتقال توان حاوی جریان الکتریکی هستند که این جریان‌ها، میدان‌هایی را در اطراف خطوط ایجاد می‌کنند. میدان‌های ایجاد شده می‌توانند در بدن انسان وارد شده و آثار بیولوژیکی ایجاد کنند. شکل (۲) میدان‌های ایجاد شده حاصل از خطوط توان در بدن انسان را نشان می‌دهد. افراد ساکن و افراد شاغل در مکان‌هایی که با منابع تشعشع

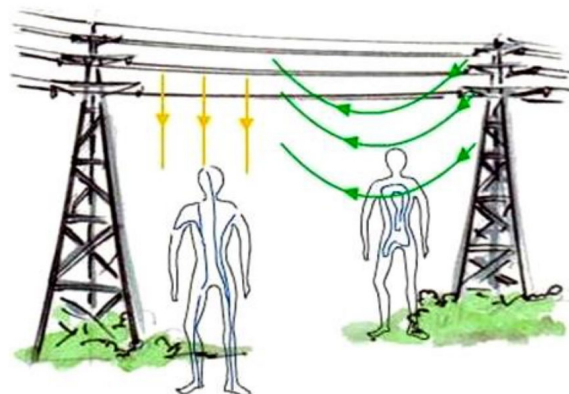
¹ Extremely low frequency fields

خود به دست می‌آورد و در فرکانس‌های نسبتاً پایین (کیلوهرتز و مگاهرتز) رخ می‌دهد. گرمایش القایی، گرمایی است که در یک ماده رسانا با ایجاد جریان گردابی در ماده، هنگامی که در میدان مغناطیسی متغیر با زمان قرار داده می‌شود به وجود می‌آید و در فرکانس‌های بالاتر از رادیوفرکانسی تا ماکروویو هم ایجاد می‌شود [۱۱]. اثرپذیری بدن انسان از میدان‌ها از آنجا ناشی می‌شود که بسیاری از ذرات غوطه‌ور در محیط مایع تحت تابش یک میدان الکتریکی به کار رفته به صف در می‌آیند و یک زنجیره تشکیل می‌دهند که همراستا با میدان الکتریکی خواهد بود. شکل (۴) زنجیره به‌صاف در آمده بسته به فرکانس میدان به کار رفته، دارای تأخیر زمانی است و می‌تواند زمانی اتفاق بیافتد که شدت میدان از یک مقدار کمینه بیشتر باشد. پدیده چرخش سلول، وقتی در یک میدان پلاریزه شده دایروی قرار گرفته نیز مشاهده شده است [۱۳]. تحریکات الکتریکی و اثرات غیر گرمایی در فرکانس‌های پایین، بزرگ هستند و با افزایش فرکانس، کاهش می‌یابند. پرتوها به طور کلی به دو دسته یون‌ساز و غیر یون‌ساز تقسیم می‌شوند. پرتوهای یون‌ساز با عبور از محیط، تولید ذرات باردار می‌کنند. منابع مؤلف پرتوهای یون‌ساز می‌تواند مانند پرتو X، حاصل از انرژی هسته‌ای و زباله‌های ساخت بشر باشد؛ یا می‌تواند مانند پرتوهای کیهانی حاصل از خورشید یا مواد رادیواکتیو پوسته زمین که به صورت ذره با انرژی خالص بدون جرم و بار الکتریکی (پرتوهای الکترومغناطیسی) تابش می‌شوند، زمینه طبیعی داشته باشند. برای حفاظت در برابر پرتوهای یون‌ساز به نحویکه اطمینان حاصل شود مقدار جذب شده به وسیله فرد بیش از حداکثر مجاز نبوده یا حداقل پرتوگیری ممکن باشد، سه عامل مدت زمان پرتوگیری، فاصله از منبع و حفاظت، مؤثر می‌باشد. پرتوهای غیر یون‌ساز بخشی از پرتوهای الکترومغناطیس هستند که انرژی آنها برای یونیزاسیون ماده کافی نمی‌باشد. طول موج این پرتوها بلندتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. امواج با فرکانس کم، بسیار کم و بی‌نهایت کم با طول موج از ۱ کیلومتر تا بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر جزء این پرتوها می‌باشند [۱۴].

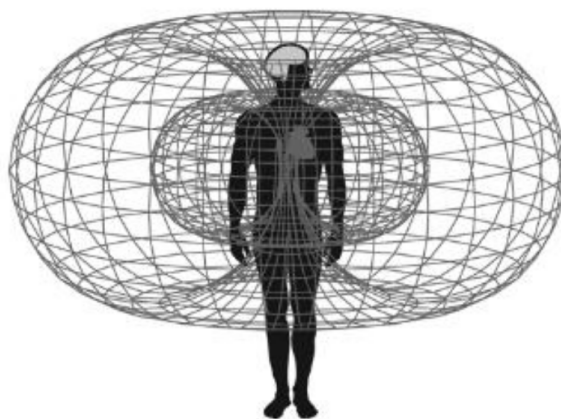
میدان‌های فرکانس پایین توانایی آن را ندارند که باعث یون‌سازی شوند. انرژی این میدان‌ها کمتر از آن است که بتواند پیوندهای شیمیایی را بشکند اما به خوبی محرز است که میدان‌های الکترومغناطیسی بدون شکستن پیوند هم می‌توانند اثرات بیولوژیکی تولید کنند. برای مثال انرژی اشعه X، ۱۰۰۰ الکترون ولت و انرژی فرکانس قدرت ۱۰^{-۱۳} الکترون ولت می‌باشد. شکل (۵) طیف امواج یون‌ساز و غیر یون‌ساز را نشان می‌دهد. به طور خلاصه، در فرکانس‌های پایین، پرتوگیری از میدان‌های الکترومغناطیسی می‌تواند تحریک الکتریکی ایجاد کند که آغازگر اثرات غیر گرمایی است. میدان‌های الکتریکی می‌توانند نیروهایی بر مولکول‌های باردار و بدون بار یا ساختار سلول‌های درون بدن موجود زنده وارد کنند. این نیروها باعث حرکت ذرات باردار، جهت‌گیری و شکسته شدن ساختمان سلول‌های دو قطبی یا القای ولتاژ در غشای سلولی شود. میدان‌های مغناطیسی می‌توانند نیروهایی در میان ساختار سلول‌ها ایجاد کنند ولی از آنجا که مواد بیولوژیکی اغلب غیرمغناطیسی هستند این نیروها ضعیف هستند [۱۵، ۱۶].



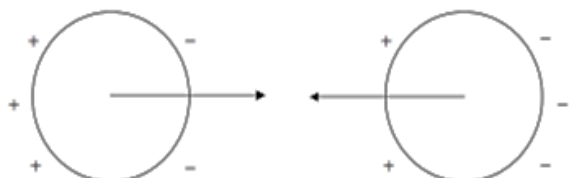
شکل (۱): طیف امواج الکترومغناطیسی [۱]



شکل (۲): میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی حاصل از خطوط انتقال توان و تأثیر آن بر بدن انسان [۳]



شکل (۳): برهم‌کنش بین میدان‌های داخلی و خارجی بدن انسان



شکل (۴): اثر زنجیره به صف در آمده [۱۳]

NON-IONIZING		IONIZING	
EXTREMELY LOW FREQUENCY	RADIO THZ	INFRARED	ULTRAVIOLET
	MICROWAVE	VISIBLE LIGHT	X-RAY
			GAMMA RAYS
NON-THERMAL	THERMAL	OPTICAL	BROKEN BONDS
INDUCES LOW CURRENTS	INDUCES HIGH CURRENTS	EXCITES ELECTRONS	DAMAGES DNA
POWER LINE	HEATING MICRO-WAVE OVEN	PHOTOCHEMICAL EFFECTS	MEDICAL X-RAY
		HEAT LAMP	TANNING BOOTH

شکل (۵): طیف امواج یون‌ساز و غیر یون‌ساز [۱۵]

گرمایش دی‌الکتریکی، گرمایی است که وقتی ماده عایق در میدان الکتریکی متغیر با زمان قرار می‌گیرد به دلیل خواص دی‌الکتریکی تلفاتی

۲- اثرات غیر گرمایی

جدول (۱): خلاصه اثرات بیولوژیکی در فرکانس‌های بین 3-300 Hz

اثرات	چگالی جریان (mA/m ²)
عدم اثر تصدیق شده	1 <
اثرات بیولوژیکی جزئی گزارش شده	1-10
احتمال ایجاد مگنتوفوسفن، اثر بر سیستم عصبی	1-100
تغییر در تحریک پذیری سیستم عصبی مرکزی، آستانه‌های تحریک و احتمال آسیب سلامتی	100-1000
ضربان اضافی در قلب، انقباض بی نظم رشته‌های بطنی و احتمال آسیب سلامتی	1000 >

۴- معرفی برخی اثرات امواج فرکانس پایین

موجودات زنده مانند انسان، سیستم‌های مختلط و پیچیده‌ای هستند که به دلیل مشخصه‌های دی الکتریکی که دارند (شامل ضریب نفوذپذیری مغناطیسی (μ))، گذردهی دی الکتریکی (ϵ) و رسانایی (σ) با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی واکنش می‌کنند. واکنش امواج الکترومغناطیسی با سیستم بیولوژیکی بسیار پیچیده است و می‌تواند در سطوح مختلف سلولی، مولکولی یا اندامی یا کل بدن بررسی شود. علاوه بر نوع میدان، میزان واکنش‌ها به عکس‌العمل‌های سیستم‌های بیولوژیکی هم بستگی دارد. سیستم‌های زنده قابلیت بالایی در جبران‌سازی تأثیرات میدان‌های القایی خارجی در بدن دارند. مکانیزم‌های مختلفی برای واکنش‌های الکترومغناطیسی با بدن ارائه شده که می‌توان آن‌ها را به جریان‌ها و میدان‌های القا شده و دیگر اثرات مستقیم و غیرمستقیم تقسیم نمود [۱۱، ۱۲]. اساس واکنش میدان‌های الکترومغناطیسی با مواد از قرن گذشته بر پایه معادله ماکسول بنا شده است. به کارگیری این اصول برای سیستم‌های بیولوژیکی به دلیل پیچیدگی زیاد و سطوح چندگانه در بافت‌های بدن موجود زنده بسیار مشکل است. به علاوه بافت‌های بیولوژیکی طیف خواص الکتریکی گسترده‌ای دارند. دشواری‌های فوق‌الذکر فرایند درک اثرات بیولوژیکی را کند می‌کند. با این حال در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی با آزمون روی حیوانات و بررسی‌های انسانی می‌توان به آثار احتمالی پی برد [۲۴-۲۷]. مطالعات سلولی، بررسی میزان اثرات امواج بر بدن موجودات زنده به صورت آزمایش‌های مختلف روی سلول‌های کشت شده تحت شرایط متفاوت، بررسی‌های اپیدمیولوژیکی، مطالعات حیوانی در شرایط طبیعی و مصنوعی، مطالعات پزشکی و شغلی قابل اجرا می‌باشند. به دلیل ساختار غیرهمگن موجودات بیولوژیکی، در هنگام پرتوگیری از امواج الکتریکی و مغناطیسی تغییرات مهم سلولی در آنها رخ می‌دهد که ممکن است این تغییرات در غشاء سلول، یون‌ها، فعالیت آنزیم، هورمون‌ها، تأثیرات ژنی و تأثیرات ژنوتوکسیک و آسیب به ژن باشد [۲۸]. در ادامه به چند مورد از آثار سوء امواج پرداخته می‌شود.

اثر غیر گرمایی، حاصل از تحریک احساس شده توسط عصب‌ها و عضله است و هنگامی که یک موجود زنده جسم بارداری را لمس کند، اتفاق می‌افتد. در این حالت شار الکتریکی جریان یافته و شوک الکتریکی حس می‌شود. بسته به میزان شدت جریان القایی، اثرات از یک تکان غیر ارادی (شوگ) تا فیبریلاسیون بطنی که می‌تواند مهلک باشد تغییر می‌کند. برای مردان میان‌سال آستانه تحریک ۱ میلی آمپر و برای زنان دو سوم این مقدار است. اختلال شدید قلبی (مثل ضربان اضافی قلب) در سطوح ۱۰۰۰ برابر بزرگتر اتفاق می‌افتد [۱۷]. جدول (۱) محدوده چگالی جریان القایی که اثرات احتمالی ایجاد می‌کنند را نشان می‌دهد. جریان القایی می‌تواند باعث گرمایش قابل توجه بافت‌ها تا سوختن‌های شدید شود. خطر شوک‌های الکتریکی، مکانیسم‌های آسیب و ... نیز تاکنون گزارش شده‌اند. مگنتوفسفن از اثرات تحریک میدان مغناطیسی در فرکانس‌های پایین است. این پدیده مانند مشاهده فلش‌های نوری است که به دلیل پرتوگیری سر و چشم در یک میدان مغناطیسی فرکانس پایین در شبکیه ایجاد می‌شوند. آستانه احساس حدود ۱۰ میلی تسلا در فرکانس ۲۰ هرتز است. میزان چگالی جریان برای رخداد این واقعه ۱۰ mA بر متر مربع است [۱۷-۱۹].

۳- اثرات گرمایی

میدان الکترومغناطیسی جذب شده در بدن موجود زنده به گرما تبدیل می‌شود و اثرات گرمایی را به وجود می‌آورد. اگر مقدار انرژی جذب شده گرمایی بیشتر از دمای نرمال سوخت و ساز بدن باشد مشکلات مهم بیولوژیکی به وجود می‌آید [۲۰]. اگر نرخ جذب ویژه میانگین کل بدن به ۴ وات بر کیلوگرم برسد دمای درونی بدن افزایش می‌یابد. سطوح گرمایی کمتر از ۴ وات بر کیلوگرم به عنوان یک مقدار ناچیز در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند به آسانی به واسطه فعالیت‌های طبیعی بدن مانند تعرق و افزایش گردش خون خنثی شود. برای اطمینان از حفظ سلامتی انسان، استاندارد ICNIRP هنگام تعیین محدودیت‌های تابش شغلی مجاز، ضریبی به اندازه ۰/۱ لحاظ کرد. بنابراین میزان پرتوگیری مجاز انسان در مدت زمان ۶ دقیقه در فرکانس‌های ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۰ گیگاهرتز ۰/۴ وات بر کیلوگرم می‌باشد [۲۱]. برای ایجاد انرژی برابر با نرخ سوخت و ساز بدن انسان یعنی ۱ وات بر کیلوگرم، یک میدان الکتریکی ۱۰۷ تا ۱۰۸ ولت بر متر یا میدان مغناطیسی ۱۰۴ تا ۱۰۵ تسلا مورد نیاز خواهد بود. به طور کلی شدت میدان‌های الکتریکی تجربه شده توسط انسان تا چند ده ولت بر متر است. در حالی که یک میدان «قوی» الکتریکی ۱۰۷ ولت بر متر است. همچنین میدان مغناطیسی تجربه شده توسط انسان‌ها تا چندین میکروتسلا است؛ در حالی که یک میدان «قوی» مغناطیسی ۱۰ تا ۲۰ میکروتسلا است. همانطور که قبلاً اشاره شد در فرکانس‌های پایین‌تر، پرتوگیری، آثار غیر گرمایی ایجاد می‌کند و در فرکانس‌های بالاتر واکنش اصلی میدان الکترومغناطیسی با موجودات بیولوژیکی گرمایش بافت‌هاست [۲۱-۲۳].



۴-۱- شکسته شدن DNA

مجموعه‌ای از DNA که برای تولید پروتئین‌های خاص کدگذاری شده ژن نامیده می‌شود. کروموزوم‌ها ساختارهای درون سلولی هستند که حاوی ژن می‌باشند. تقریباً هر موجود زنده‌ای دارای ژنوم است، از جمله باکتری‌ها، گیاهان، پرندگان، ماهی‌ها و انسان. ژن انسان رشته‌های شیمیایی حاوی اطلاعات پایه‌ی کارکرد بدن انسان است و از رشته‌های مارپیچی سفت و محکم DNA و مولکول‌های پروتئین مربوط تشکیل شده است. این نوع سازماندهی کروموزوم نامیده می‌شود. کروموزوم‌ها شامل قسمت‌های یکسان پروتئین و DNA هستند. میدان‌های فرکانس پایین ممکن است باعث تغییر در فرآیند سلول شده و می‌تواند منجر به شکسته شدن DNA، مرگ سلول و سرطان شود. ضمناً میدان‌های فرکانس پایین با شدت خیلی بیشتر از شدت میدان‌های محیطی ممکن است باعث افزایش سنتز DNA، تغییر توزیع وزنی مولکولی در هنگام سنتز پروتئین و ایجاد ناهنجاری در کروموزوم‌ها شود [۲۹-۳۰]. شکسته شدن رشته‌های DNA ممکن است بر کارکرد سلول اثر گذاشته و منجر به سرطان‌زایی و مرگ سلول شود. در یک مطالعه مغز تعدادی رت در میدان‌های مغناطیسی ۰/۵ تا ۱ میلی‌تسلا در فرکانس ۶۰ هرتز به مدت ۲ ساعت تحت تابش قرار داده شد و نتیجه روش سنجش دنباله‌دار^۱ افزایشی، شکستگی تک‌رشته‌ای DNA را نشان داد. شکسته شدن دو رشته‌ای DNA نیز در شدت میدان‌های ۰/۱ ، ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌تسلا مشاهده شد [۳۰]. در مطالعه‌ی دیگر در پرتوگیری‌های میدان مغناطیسی ۴۰۰ میلی‌تسلا در فرکانس ۵۰ هرتز یک جهش ژنتیکی گزارش شد. در آزمونی دیگر با استفاده از سنجش دنباله‌دار با سلول‌های تومور مغز انسان (MO54) افزایش چشمگیری روی افزایش میزان شکسته شدن تک‌رشته‌ای DNA در میدان ۴۰۰ میلی‌تسلا در فرکانس ۵۰ هرتز و برای مدت ۳۰ دقیقه مشاهده نشد [۳۱]. در یک تحقیق، سلول‌های مغز رت در میدان مغناطیسی ۰/۰۱ میلی‌تسلا در فرکانس ۶۰ هرتز به مدت ۲۴ ساعت تحت تابش قرار گرفت. شکسته شدن تک رشته‌ای و دو رشته‌ای نسبت به حالت نرمال مشاهده شد [۳۲]. مطالعه بسیار خوبی در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی در فرکانس‌های ۵۰ و ۶۰ هرتز روی تأثیرات امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین روی DNA در مرجع [۳۳] انجام شده و نتایج نشان داده امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین می‌تواند باعث شکسته شدن DNA شود. شکسته شدن DNA یکی از منابع بی‌ثباتی ژن‌ها می‌باشد که ممکن است منجر به پیر شدن، افزایش رادیکال‌های آزاد و حتی مرگ شود. یک مطالعه روی ۲۹ کارگر شاغل در نیروگاه برق و تحت تابش میدان نسبت به گروه کنترل شده، انجام شد که با روش سنجش دنباله‌دار مشخص شد میدان دارای مقدار ۰/۸۵ میکرو تسلا می‌تواند باعث شکسته شدن DNA شود [۳۴].

۴-۲- ناهنجاریهای کروموزومی

مطالعه‌ای بر روی لنفوسیت‌های خون انسان با تابش پیوسته یک میدان مغناطیسی ۱/۰۵ میلی‌تسلا در فرکانس ۵۰ هرتز و به مدت ۷۲ ساعت با پالس‌های ۱۰ میلی ثانیه‌ای در [۳۵] انجام شده که افزایش قابل توجهی در تغییر ناهنجاری‌های کروموزومی نشان داد. ناهنجاری‌های کروموزومی در سلول‌های M5S بعد از مواجهه با میدان مغناطیسی ۵۰ هرتز ۴۰۰ میلی‌تسلا و با حضور میتوماکسین -C و اشعه X در [۳۶] دیده شده و افزایشی حدود سه برابری در تغییرات ناهنجاری‌های کروموزومی در سلول‌های تحت پرتوگیری ۴۰۰ میلی‌تسلا در مقایسه با سلول‌های کنترل شده مشاهده شده است. همچنین پرتوگیری پیوسته و متناوب سلول‌های جنین انسان (۱۵ ثانیه روشن و ۱۵ ثانیه خاموش) از میدان مغناطیسی ۳۰ میکروتسلا برای مدت ۷۲ ساعت ناهنجاری‌های کروموزومی را ایجاد کرد. تغییرات در سلول‌های تحت تابش تقریباً دو برابر شد. همچنین تحقیقات نشان داد میدان‌های بزرگتر از ۵۰ میلی‌تسلا، باعث ایجاد اثرات بیولوژیکی می‌شوند به خصوص اگر با کاتالیزورهای فیزیکی یا شیمیایی ترکیب شوند [۳۸]. در یک آزمایش تعداد ۴۸ موش در گروه کنترل شده و تحت آزمون قرار گرفتند و نقش ویتامین C در کاهش آسیب‌های کروموزومی روی آن‌ها بررسی شد. آزمایش در فرکانس ۵۰ هرتز و شدت میدان ۵۰ گاوس برای ۴ روز و هر روز ۴ ساعت انجام شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که ویتامین C نقش آنتی ژنوتوکسیکی داشته و باعث کاهش آسیب‌های کروموزومی القا شده توسط امواج الکترومغناطیس با فرکانس پایین (۵۰ هرتز) در اریتروسیت‌های پلی کروماتیک موش نر بالغ (نژاد بلب سی) می‌شود. بنابراین این نکته هم از اهمیت برخوردار است که می‌توان ضمن شناسایی راه‌کارهای مقابله با اثرات مخرب این امواج، با استفاده از ترکیبات آنتی اکسیدان نظیر ویتامین C آسیب‌های ژنتیکی ایجاد میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌ها را کاهش داد [۳۹].

۴-۳- تشکیل میکرونوکلئوس

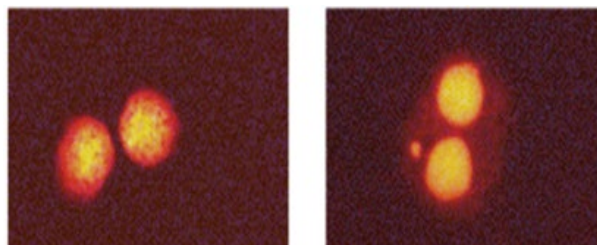
میکرونوکلئوس مکرراً به عنوان یک شاخص تشخیص ژنوتوکسیسیتی استفاده شده است. این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که DNA از هسته اصلی جدا می‌گردد و به صورت یک هسته جدا و کوچک به نظر می‌رسد [۴۰]. شکل (۶) نحوه تشکیل میکرونوکلئوس را نشان می‌دهد. امکان اتفاق افتادن میکرونوکلئوس به طور خود به خودی وجود دارد (به ندرت) بنابراین تشکیل میکرونوکلئوس در دو گروه تحت کنترل و تحت تابش ارزیابی می‌شود و از روش‌های آماری برای ارزیابی اختلافها استفاده می‌گردد [۴۱]. در [۴۲] اثرات ژنوتوکسیک میدان سینوسی AC با شدت ۰/۵ ، ۲ ، ۵ و ۱۰ کیلوولت بر متر با استفاده از لنفوسیت‌های انسان در بافت‌های تحت تابش و تحت کنترل بررسی شده است. در همه شدت میدان‌های آزمایش شده تفاوتی در فراوانی تشکیل میکرونوکلئوس‌ها در دو گروه مشاهده نشد. وقتی میتوماکسین -C به بافت‌ها اضافه شد تعداد میکرونوکلئوس‌ها به شدت افزایش یافت.

¹ Comet Assay

گزارشاتی توسط [۴۳، ۴۴] مبنی بر افزایش میکرونوکلئوس در یک میدان مغناطیسی ۵۰ هرتز پیوسته با شدت ۱ - ۰/۸ میلی تسلا بعد از ۴۸ و ۷۲ ساعت مشاهده شده است. در یک مطالعه از سلول‌های لنفوسیت انسان و بنزوپیرن برای بررسی اثر میدان‌های فرکانس پایین بر روی تغییرات میکرونوکلئوس استفاده شد. پرتوگیری همزمان بنزوپیرن با یک میدان ۰/۸ میلی تسلا در فرکانس ۶۰ هرتز برای ۲۴ ساعت و بعد ادامه پرتوگیری با بنزوپیرن به مدت ۴۸ ساعت افزایشی در تشکیل میکرونوکلئوس در مقایسه با ۷۲ ساعت تابش با بنزوپیرن تنها ایجاد کرد [۴۵].

۴-۴- تکثیر سلول

تکثیر نامتعارف سلول باعث تولید سرطان می‌شود. هر نشانه‌ای که باعث تغییر نرخ تکثیر سلول‌ها شود سرطان تولید می‌کند. تحقیقات نشان داده که میدان‌های فرکانس پایین باعث چنین تغییراتی می‌شود [۴۶]. سلول‌های تقسیم‌نشده در خطر کمتری هستند. اگر میدان‌های مغناطیسی فرکانس‌های پایین باعث تکثیر سلول شود، در سرطان‌زایی مؤثر خواهد بود و بر عکس کاهش تکثیر سلول یا مرگ سلول‌ها بر روی سم‌زدایی اثرگذار است. در [۴۷] گزارش شده که تابش یک ساعته در میدان ۲ میلی تسلا و ۵۰ هرتز مغناطیسی باعث تغییراتی در سلول‌های فیبروبلاست موش شد. در [۴۸] در یک تابش ۳۰ دقیقه ای ۸۰ میکروتسلا و ۵۰ هرتز، افزایش نرخ تکثیر سلول‌های AMA^۱ انسان گزارش شد. ملاتونین اغلب در شب تولید شده و از طریق خون در سرتاسر بدن پخش می‌شود. این جریان سریع و موج‌دار در هر سلول در بدن انسان باعث نابود شدن رادیکال‌های آزاد و تقسیم سلولی برای جایگزین شدن با DNA های آسیب نرسیده می‌شود. اگر میزان تولید ملاتونین کاهش یابد ممکن است انواع سرطان‌های مختلف به وجود آید. اثرات میدان مغناطیسی در سلول‌های MCF-7 سرطان سینه انسان بررسی شده و ملاحظه گردید ملاتونین مانع از تکثیر سلول‌های سرطانی MCF-7 می‌شود. وقتی سلول‌ها در مواجهه با یک میدان سینوسی ۱/۲ میکروتسلا و ۶۰ هرتز قرار گرفتند، اثر بازدارنده تکثیر سلول ملاتونین کاهش یافت [۴۹].



شکل (۶): سمت چپ یک سلول دو هسته‌ای را نشان می‌دهد که میکرونوکلئوس ندارد و شکل سمت راست سلول دو هسته‌ای با میکرونوکلئوس را نشان می‌دهد [۶].

در مطالعه‌ای مشابه نشان داده شده پرتوگیری از میدان‌های مغناطیسی فرکانس پایین توانایی تاموکسوفین برای بازداری از تکثیر سلول سرطانی را کاهش داد. همچنین کاهش تولید ملاتونین در فرکانس‌های قدرت (۵۰/۶۰ هرتزی) باعث کاهش توانایی ملاتونین در زدودن رادیکال‌های آزاد می‌شود [۵۰]. در یک آزمایش که روی سلول‌های MCF-7 انجام شد، اثر میدان‌های فرکانس پایین بر روی عملکرد ملاتونین تأیید نشد. ممکن است این نتیجه بر اثر تفاوت در خواص سلول‌های MCF-7 استفاده شده باشد. سلول‌های MCF-7 استفاده شده توسط Liburdy حساس به ملاتونین بودند و مسلماً یک گیرنده استروژن داشتند. ولی رشته سلول‌های MCF-7 استفاده شده پاسخ ضعیفی به ملاتونین داشت و به هیچ وجه گیرنده استروژن نداشت [۵۱]. ملاتونین نرخ رشد سلول‌های سرطانی را کاهش می‌دهد و نشان داده شده یک میدان مغناطیسی ۶۰ هرتزی ۱۲ میلی گوسی می‌تواند توانایی ملاتونین را در رفع رشد سلول‌های سرطانی سد کند. یک مطالعه بر روی موش در میدان‌های مغناطیسی ۵۰ هرتز، ۱ و ۱۰ و ۱۰۰ میکروتسلا و برای ۱۲ ساعت در روز و یا ۳۰ روز و هر روز ۱۸ ساعت پرتوگیری انجام شد که کاهش ۴۰ درصدی تولید ملاتونین برای ۳۰ روز در تابش‌های ۱۰ و ۱۰۰ میکروتسلا مشاهده شد ولی اثری برای ۱ میکروتسلا مشاهده نشد [۵۲].

یک مطالعه جالب روی ۶ نفر در گروه کنترل شده و ۶ نفر در گروه کنترل نشده که به دلیل شغلشان به مدت ۵ سال، هر روز ۸ ساعت تحت پرتوگیری (میدان ۰/۲ تا ۶/۶ میکروتسلا و ۵۰ هرتز) بودند انجام شده است. مشاهده گردید تعداد لنفوسیت‌ها، CD4+ و CD3+ کاهش و NK2 افزایش یافت. شش ماه بعد از پایان پرتوگیری تعداد لنفوسیت‌ها به خصوص CD4+ و CD3+ (به ترتیب ۲۸+ و ۲۲+ و ۱۷+) درصد) افزایش یافت [۵۳]. در یک مطالعه اثر میدان بر اشخاص تحت میدان‌های فرکانس‌های پایین با شدت‌های ۰/۱ و ۰/۲۵ میلی تسلا در هنگام کار با قوس الکتریکی جوشکاری انجام شده است. مقایسه بین ۱۶ جوشکار و ۱۶ مرد سالم که بین ۲۰ تا ۴۰ سال سن داشتند نشان داد تعداد سلول‌های CD4+ و CD8+ در بدن جوشکارها کاهش یافته است [۵۴]. در یک آزمایش با میدان ۵۰ هرتز ۱ میلی تسلا برای مدت ۷۲ ساعت روی سلول K562، بعد از ۲۴ ساعت اثر حفاظتی روی مرگ سلولی^۲ مشاهده گردید [۵۵]. همچنین در [۵۶] اثر امواج فرکانس پایین بر سلول‌های مختلف بررسی شده است. اثرات روی تکثیر سلول‌های مختلف متفاوت مشاهده شده است.

۴-۵- اثر بر فعالیت آنزیم

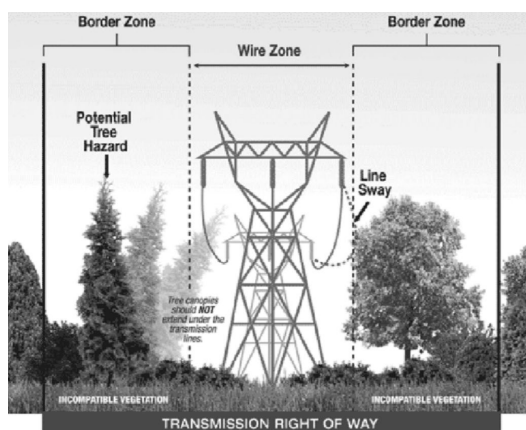
آنزیم‌ها مانند دیگر پروتئین‌ها از زنجیری طولانی از آمینواسیدها که به وسیله پپتید به هم چسبیده‌اند تشکیل شده که در تمام سلول‌های زنده که با کنترل فرایند متابولیسم، تابع مهمی را اجرا می‌کنند، وجود

^۳ مرگ سلولی، فرایند مرگ برنامه‌ریزی شده سلول است که در جانداران پرسولوی به وقوع می‌پیوندد که اصطلاحاً آنرا خودکشی سلولی هم می‌نامند.

^۱ Antimitochondrial antibodies (AMA)
AMA یک آنتی‌بادی ضدسیتوپلاسمی و علیه لیپوپروتئین غشای میتوکندری است.

^۲ Natural Killer





شکل (۷): معبر قانونی

۶- کاهش شدت میدان‌های فرکانس پایین

راه‌های مختلفی برای کاهش میزان تابش امواج الکتریکی و مغناطیسی فرکانس پایین وجود دارد. از بین آنها موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. بالاتر بردن ارتفاع کابل‌های برق نصب شده بر روی پایه‌ها.
۲. نصب علامت‌های اخطار و احتیاط در محل تشعشع.
۳. دفن کابل‌ها در گودال (کابل کشی زیر زمینی).
۴. ایجاد حصار.
۵. خریداری زمین‌های اطراف منبع تشعشع امواج الکترومغناطیسی به دلیل ایجاد محدودیت دسترسی به آن.
۶. استفاده از روش شیلدینگ.
۷. رعایت معبر قانونی نیز گام بزرگی برای کاهش شدت میدان است چون مدت پرتوگیری از خطوط انتقال توان طولانی‌تر از پرتوگیری از میدان‌های مغناطیسی حاصل از دستگاه‌های الکتریکی است.
۸. رعایت فاصله مناسب از شبکه انتقال توان می‌تواند شدت میدان را کاهش دهد. برای مثال در فلوریدا و نیویورک معبر قانونی^۳ (شکل (۷)) به صورت جدول (۳) است [۱۶، ۶۴].

۷- مقادیر استاندارد

استانداردهای مختلفی برای مقادیر مجاز پرتوگیری تعریف شده‌اند که از آن جمله ICNIRP^۴ و IEEE است.

۷-۱- استاندارد ICNIRP

این استاندارد کمیته‌ای متشکل از کارشناسان علمی در زمینه حفاظت در مقابل امواج الکتریکی و مغناطیسی است. هدف اصلی آن ارائه خطوط راهنما برای ایجاد محدودیت پرتوگیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی برای اجتناب از اثرات احتمالی سوء بیولوژیکی امواج است. خطوط راهنما به دو گروه تقسیم می‌شوند: پرتوگیری‌های شغلی و پرتوگیری‌های محیط عمومی. پرتوگیری‌های شغلی به افراد بزرگسالی

دارند. در یک مطالعه پس از انجام آزمایش‌های گوناگون افزایش فعالیت ODC^۱ در غدد لنفاوی موش تحت پرتوگیری میدان ۱۰ میکروتسلا ۶۰ هرتزی مشاهده گردید. همچنین یک مطالعه با استفاده از سلول‌های L929 موش تحت تابش میدان مغناطیسی فرکانس پایین ۶۰ هرتزی و ۱ تا ۱۰۰ میکروتسلا، افزایش حدود ۲ برابری در فعالیت‌های ODC در مقایسه با گروه کنترل نشان داد [۵۸]. آزمایش دیگری روی آنزیم‌های مرتبط با غشاء، با میدان ۲/۵ میلی تسلا و در فرکانس ۷۵ هرتزی انجام شد. در مدت پرتوگیری کاهش شدیدی در فعالیت آنزیم اتفاق افتاد [۵۹]. در مطالعه‌ای که روی آنزیم لاکاز در فرکانس ۱۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز میدان گردان مغناطیسی با شدت ۱۵ تا ۱۸/۵ میلی تسلا انجام شد، افزایشی در فعالیت آنزیم به ترتیب در فرکانس‌های فوق به صورت ۱۱ درصد، ۱۱ درصد و ۹ درصد مشاهده گردید. کاربرد میدان گردان مغناطیسی راه جدیدی برای کنترل و مدیریت زیست‌فرايندهای^۲ مبتنی بر آنزیم می‌باشد [۶۰].

۵- اثرات غیرمستقیم میدان الکتریکی و مغناطیسی بر بدن از دید ICNIRP

اثرات غیرمستقیم میدان‌های الکترومغناطیسی ممکن است از طریق تماس فیزیکی بین یک شخص و یک جسم، مانند یک فلز در میدان که دارای اختلاف پتانسیل می‌باشند اتفاق بیافتد. نتیجه هر تماس، شارش بارهای الکتریکی (جریان تماسی) است که می‌تواند روی سطح جسم یا در بدن شخص تجمع یابد. در محدوده فرکانسی تا حدود ۱۰۰ کیلوهرتز، شار جریان الکتریکی از جسم ممکن است در تحریک عضلات و یا عصب‌های جانبی اثر داشته باشد. با افزایش میزان جریان ممکن است احساس درد حاصل از شوک الکتریکی و یا سوختن، ایجاد مشکلات تنفسی، اختلال در تشخیص اشیاء و در جریان‌های بالا انقباض رشته‌های عضلانی بطنی قلب آشکار شود. مقدار آستانه برای این اثرات به فرکانس وابسته است. طبق استاندارد ICNIRP، کنترل و مدیریت و حتی پوشیدن لباس‌های محافظ شخصی می‌تواند از ایجاد این مشکلات جلوگیری کند. وقتی شخص به یک جسم که در پتانسیل الکتریکی متفاوت با او باشد خیلی نزدیک شود، حتی بدون تماس مستقیم شخص با آن جسم ممکن است تخلیه الکتریکی به صورت جرقه اتفاق بیافتد [۶۱، ۶۲]. آزمایش بر روی گروهی از داوطلبین که از لحاظ الکتریکی از زمین عایق شده بودند و انگشتان خود را به یک جسم زمین شده نزدیک کردند نشان داد که آستانه درک تخلیه الکتریکی (جرقه) کمتر از ۰/۶ تا ۱/۵ کیلوولت بر متر می‌باشد. جریان‌های تماسی بزرگ می‌تواند منجر به انقباض عضله شود. آستانه جریان‌ها برای اثرات غیرمستقیم میدان‌ها با فرکانس‌های تا ۱۰۰ کیلوهرتز در جدول (۲) خلاصه شده است [۶۳].

² Bioprocess

³ Right of way

⁴ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)



¹ Orithinin Decarboxylase

آنزیمی که نقش مهمی در تنظیم رشد سلول از طریق سنتز پلی آمین‌های لازم برای سنتز پروتئینها و DNA دارد.

۹-۱- تومور مغزی

از اثرات مشاهده شده بر روی افراد شاغل در اطراف خطوط انتقال توان، تومور مغزی می‌باشد [۷۰]. در یک مطالعه روی این افراد گزارش شد افرادی که در فاصله کمتر از ۵۰ متری از آن زندگی کرده‌اند دارای دو نوع سرطان شده‌اند، تومور مغزی و گلیوما^۲.

جدول (۲): آستانه جریان‌ها برای اثرات غیرمستقیم میدان‌ها

اثرات غیر مستقیم	آستانه جریان (۶۰/۵۰Hz)	آستانه جریان (1kHz)	آستانه جریان در (۱۰۰kHz)
درک تماس	۰/۴ تا ۰/۲	۰/۸ تا ۰/۴	۴۰ تا ۲۵
احساس درد	۱/۸ تا ۰/۹	۳/۳ تا ۱/۶	۵۵ تا ۳۳
شوک دردناک	۸ تا ۱۶	۲۴ تا ۲۱	۲۲۴ تا ۱۱۲
شوک شدید	۱۲ تا ۲۳	۴۱ تا ۱۲	۳۲۰ تا ۱۶۰

جدول (۳-الف): شدت میدان مغناطیسی فرکانس پایین در حریم راه و لبه‌های حریم راه

محل	شدت میدان در لبه‌های ROW
فلوریدا	۱۵۰ میلی‌گوس (خطوط دو مداره ۶۹ تا ۲۳۰ کیلوولتی)
نیویورک	۲۰۰ میلی‌گوس (خطوط تک مداره ۵۰۰ کیلوولتی)
	۲۰۰ میلی‌گوس (خطوط بیشتر از ۲۳۰ کیلوولتی)

جدول (۳-ب): شدت میدان الکتریکی فرکانس پایین در حریم راه و لبه‌های حریم راه

محل	شدت میدان در ROW	شدت میدان در لبه‌های ROW
فلوریدا	۸ کیلوولت بر متر (خطوط دو مداره ۶۹ تا ۲۳۰ کیلوولتی)	۲ کیلوولت بر متر
	۱۰ کیلوولت بر متر (خطوط تک مداره ۵۰۰ کیلوولتی)	
نیویورک	۱۱/۸ کیلوولت بر متر	۱/۶ کیلوولت بر متر

جدول (۴): مقادیر مرجع در ICNIRP (برای ۵۰ هرتز)

مقادیر ICNIRP	شدت میدان الکتریکی	چگالی شار مغناطیسی
تابش‌های عمومی	۵۰۰۰ ولت بر متر	۲۰۰ میکروتسلا
تابش‌های شغلی	۱۰۰۰۰ ولت بر متر	۱۰۰۰ میکروتسلا

جدول (۵): مقایسه مقادیر مرجع برای میدان‌های الکتریکی (kV/m)

محیط شغلی	استاندارد پیشنهادی	IEEE2000	ICNIRP
نرمال	۱۰	۲۰	۱۰
ویژه	۲۰	> ۲۰	۲۰
محیط عمومی	استاندارد پیشنهادی	IEEE2000	ICNIRP
نرمال	۵	۵	۵
ویژه	۱۰	۱۰	-

^۲ Glioma (توموری است که از رشد غیرقابل کنترل سلول‌های گلیال ایجاد می‌شود).

اشاره دارد که در محل کار خود تحت تابش امواج الکترومغناطیسی هستند و از میزان تابش مطلع می‌باشند. برای مثال افرادی که در رادار یا پست‌های انتقال توان کار می‌کنند از این دسته می‌باشند. تابش‌های عمومی به افرادی در تمام سنین و با وضعیت سلامت متفاوت اشاره دارد که از میزان تابش اطلاع ندارند و نمی‌دانند تحت تابش امواج الکترومغناطیسی هستند. جدول (۴) مقادیر مرجع در ICNIRP را نشان می‌دهد [۶۵].

۹-۲-۷- استاندارد IEEE

هدف از استاندارد IEEE تعریف سطوح مرجع برای حفاظت در مقابل اثرات مضر تابش الکترومغناطیسی از ۰ تا ۳ کیلوهرتز است. این استاندارد با در نظر گرفتن مکانیسم‌های اثرات بیولوژیکی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در انسانها بنا شده‌اند. برای فرکانس ۵۰ هرتز ماکزیمم تابش مجاز به صورت زیر است [۶۶]:

- میدان مغناطیسی: ۹۰۴ میکروتسلا (برای سر) و ۷۵۸۰۰ میکروتسلا (برای بازو و پا)
 - میدان الکتریکی: ۵ تا ۱۰ کیلوولت بر متر
- جدول (۵) مقایسه مقادیر مجاز در چند استاندارد را نشان می‌دهد.

۸- محافظت در مقابل امواج فرکانس پایین VDT

میدان الکتریکی در VDT^۱ به دلیل منبع تغذیه و سیم پیچ‌ها ایجاد می‌شود. این قطعات می‌توانند پتانسیلی سطحی تا چندین کیلوولت بسازند که بستگی به دما، رطوبت و غلظت یون در هوا دارد. چند نکته ساده می‌تواند برای کاهش پرتوهای این منابع رعایت شود.

۱. استفاده از VDT کم تشعشع.
۲. پرهیز از نشستن یا کار کردن در جایی که فرد را از پشت و اطراف در معرض تشعشع از کامپیوترهای دیگر قرار می‌دهد.
۳. خاموش کردن کامپیوتر و سایر تجهیزات الکترونیکی مشابه، در زمانی که استفاده نمی‌شوند.
۴. نوت بوک با LCD به دلیل باند فرکانسی باریک و توان مصرفی کم می‌تواند جایگزین خوبی برای کامپیوترهای رومیزی باشد.
۵. رعایت فاصله مناسب از VDTها. حداقل فاصله از صفحه VDTها ۷۰ سانتی‌متر است. با دور شدن از آن، به سرعت شدت میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد [۶۸، ۶۹].

۹- سایر اثرات

گونه‌های مختلفی از آثار امواج فرکانس پایین بر بدن انسان گزارش شده است. تحقیقات فراوانی بر روی ارتباط بین سکونت در اطراف خطوط انتقال توان و اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی به وجود آمده توسط محققین انجام شده که در ادامه به بیان برخی پرداخته می‌شود:

^۱ Video Device Terminal

جدول (۶): خلاصه‌ای از آثار امواج فرکانس پایین بررسی شده در پژوهش حاضر

شماره مرجع	بافت مورد آزمون	مشخصات میدان	اثر
۳۰	مغز رت	۶۰ هرتز - ۰/۵ تا ۱ میلی تسلا - ۲ ساعت	شکسته شدن تک رشته ای DNA
۳۱	تومور مغز انسان	۵۰ هرتز - ۴۰۰ میلی تسلا - ۳۰ دقیقه	شکسته شدن تک رشته ای DNA
۳۲	مغز رت	۶۰ هرتز - ۰/۰۱ میلی تسلا - ۲۴ ساعت	شکسته شدن تک رشته ای و دو رشته‌ای DNA
۳۴	۲۹ انسان شاغل در نیروگاه برق	۵۰ هرتز - ۰/۸۵ میکرو تسلا	شکسته شدن DNA
۳۵	لنفوسیت خون انسان	۵۰ هرتز - ۱/۰۵ میلی تسلا - ۷۲ ساعت	ناهنجاری کروموزومی
۳۶	سلول M5S	۵۰ هرتز - ۴۰۰ میلی تسلا - + اشعه X و میتومایسین C	ناهنجاری کروموزومی افزایش ۳ برابری
۳۷	سلول‌های جنین انسان	۳۰ میکروتسلا - ۷۲ ساعت	ناهنجاری کروموزومی افزایش ۲ برابری
۴۲	لنفوسیت خون انسان	۵۰ هرتز سینوسی - ۰/۵، ۲، ۱۰ کیلوولت بر متر + میتومایسین C	افزایش تشکیل میکرونوکلئوس
۴۳		۵۰ هرتز - ۰/۸ تا ۱ میلی تسلا - ۴۸ ساعت	افزایش تشکیل میکرونوکلئوس
۴۵	لنفوسیت خون انسان	۶۰ هرتز - ۰/۸ میلی تسلا - ۲۴ ساعت + بنزوپیرن	افزایش تشکیل میکرونوکلئوس
۴۷	موش	۵۰ هرتز - ۲ میلی تسلا - ۱ ساعت	تغییرات در سلول فیبروبلاست
۴۸	سلول AMA انسان	۵۰ هرتز - ۰/۵۸۰ میکرو تسلا - ۳۰ دقیقه	افزایش نرخ تکثیر سلول AMA
۴۹	سلول MCF7 سرطان سینه	۶۰ هرتز - ۱/۲ میکرو تسلا	کاهش اثر بازدارندگی ملاتونین در تکثیر سلول - کاهش توان تاموکسوفین در بازدارندگی از تکثیر سلول سرطانی
۵۲	موش	۵۰ هرتز - ۱ و ۱۰ میکرو تسلا - ۳۰ روز	کاهش ۴۰ درصدی تولید ملاتونین
۵۳	کارکنان شاغل در پست	۵۰ هرتز - ۰/۲ تا ۶/۶ میکرو تسلا - ۵ سال روزی ۸ ساعت	کاهش تعداد لنفوسیت ها و CD4+ و CD3+ کاهش و NK افزایش
۵۴	جوشکار (انسان) ۲۰ تا ۴۰ سال	۵۰ هرتز - ۰/۱ و ۰/۲۵ میلی تسلا	کاهش تعداد لنفوسیت ها و CD4+ و CD8+ کاهش
۵۸	غدد لنفاوی موش سلول L929 موش	۶۰ هرتز - ۱۰ میکرو تسلا ۶۰ هرتز - ۱ تا ۱۰۰ میکرو تسلا	افزایش فعالیت ODC افزایش ۲ برابری فعالیت ODC
۵۹	آنزیم مرتبط با غشاء	۷۵ هرتز - ۲/۵ میلی تسلا	کاهش شدید فعالیت آنزیم
۶۰	آنزیم لاکاز	۵۰ هرتز - ۱۵ تا ۱۸/۵ میلی تسلا	کاهش فعالیت آنزیم
۷۰	افراد ساکن در مجاورت و شاغل در خطوط انتقال	۵۰/۶۰ هرتز - دائماً تحت پرتوگیری	تومور مغزی - گلو میا
۷۱ تا ۷۳	انسان	میدان بزرگتر از ۰/۳ تا ۰/۴ میکروتسلا	سرطان خون کودکان
۷۴	میمون	۳۰ هرتز - ۰/۷ میکروتسلا - ۲۸ روز و روزی ۲ ساعت	کاهش فرایند یادگیری و حافظه
۷۵	رت	۵۰ هرتز - ۱ تا ۲ میلی تسلا - ۴۲ روز	نقص در یادگیری و حافظه
۷۶	رت	۵۰ هرتز - ۱ میلی تسلا - ۲۸ روز و روزی ۲ ساعت	کمک به نورون‌زایی هیپوکمپوس به همراه کم خونی مغزی و تأثیر بر شکاف گذرگاه سیگنالینگ در رت‌ها
۷۶	رت	۵۰ هرتز - ۱ میلی تسلا - ۶ روز و روزی ۳/۵ ساعت	کمک به بقای نورون‌های تازه متولد شده و بهبود یادگیری و حافظه

۹-۱- سرطان خون

در سال ۲۰۰۲ سازمان بهداشت جهانی^۱ گزارش کرد میدان‌های بزرگتر از ۰/۳ یا ۰/۴ میکروتسلا باعث ایجاد سرطان خون کودکان می‌شود [۷۱]. در تحقیق دیگری یک بازبینی عمیق بین سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱ صورت گرفته که در آن به ارتباط بین خطوط انتقال توان و سرطان خون در افراد زیر ۲۱ سال گزارش شده است [۷۲، ۷۳].

۹-۲- اثر بر روی حافظه

از تأثیرات دیگر امواج فرکانس پایین، اثر بر روی حافظه، یادگیری و همچنین رفتار می‌باشد. در یک آزمایش از ۴ میمون استفاده شد که تحت تابش میدان با شدت ۰/۷ میکروتسلا در فرکانس ۳۰ هرتز به مدت ۳۰ روز و روزانه ۴ ساعت بودند. یک هفته قبل و یک هفته بعد از پرتو دهی تغییرات آناتومیکی مغز میمون‌ها با استفاده از MRI اسکن

¹ World Health Organization

- Rhesus macaque Monkeys Using MRI: A Case Report Study,” Basic and clinical neuroscience, vol. 13, no. 4, pp. 433–442, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.32598/bcn.2021.1340.3>.
- [3] Asaad Shemshadi and Pourya Khorampour, “Novel Electric Field Exposure Control Methods for Multi-Story Buildings Installed in Vicinity of High-Voltage Apparatus Using FEM,” ASEAN Engineering Journal, vol. 11, no. 4, pp. 179–203, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.11113/aej.v11.17872>.
- [4] X. Zhang, “Magnetic Field Parameters and Biological Sample Differences That Lead to Differential Bioeffects,” pp. 1–30, Jan. 2023, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-8869-1_1
- [5] P. Stavroulakis, Biological Effects of Electromagnetic Fields. Springer Science & Business Media, 2013.
- [6] M. Feychting, A. Ahlbom, and L. Kheifets, “EMF AND HEALTH,” Annual Review of Public Health, vol. 26, no. 1, pp. 165–189, Apr. 2005, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.26.021304.14445>.
- [7] G. Vianale, M. Reale, P. Amerio, M. Stefanachi, S. Di Luzio, and R. Muraro, “Extremely low frequency electromagnetic field enhances human keratinocyte cell growth and decreases proinflammatory chemokine production,” British Journal of Dermatology, vol. 158, no. 6, pp. 1189–1196, Jun. 2008, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2008.08540.x>.
- [8] C. D’Angelo, E. Costantini, M. A. Kamal, and M. Reale, “Experimental model for ELF-EMF exposure: Concern for human health,” Saudi Journal of Biological Sciences, vol. 22, no. 1, pp. 75–84, Jan. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.07.006>.
- [9] D. Belpomme, L. Hardell, I. Belyaev, E. Burgio, and D. O. Carpenter, “Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective,” Environmental Pollution, vol. 242, pp. 643–658, Nov. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.019>.
- [10] A. Lak, “Evaluation of Biological Effects of Extremely Low Frequency Fields on human body,” The national conference of electrical engineering and computer science of south of Iran, April 2013.
- [11] A. Lak and Homayoon Oraizi, “Evaluation of SAR Distribution in Six-Layer Human Head Model,” International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2013, pp. 1–8, Jan. 2013, doi: <https://doi.org/10.1155/2013/580872>.
- [12] M. Biesuz, T. Saunders, D. Ke, M. J. Reece, C. Hu, and S. Grasso, “A review of electromagnetic processing of materials (EPM): Heating, sintering, joining and forming,” Journal of Materials Science & Technology, vol. 69, pp. 239–272, Apr. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.06.049>.
- [13] C. J. Hu and F. S. Barnes, “A simplified theory of pearl chain effects,” Radiation and Environmental Biophysics, vol. 12, no. 1, pp. 71–76, Jun. 1975, doi: <https://doi.org/10.1007/bf02339811>.
- [14] <http://www.environmentalhealth.ir>
- [15] <http://www.radiologyandphysicalmedicine.es>
- [16] R. Y. Habash, Electromagnetic radiation and safety, Taylor & Francis Group, 2018.
- [17] WHO Magnetic fields, Environmental health criteria, Genova, World Health Organization, 1987.
- [18] Per Lövsund, P. Öberg, G. Nilsson, and T. Reuter, “Magnetophosphenes: a quantitative analysis of

شد. قرارگیری در معرض میدان الکترومغناطیس با فرکانس ۳۰ هرتز موجب کاهش تعداد پاسخ‌های صحیح در فرایند یادگیری و تأخیر در شکل‌گیری حافظه در دو میمون مورد آزمایش شد. این نشان می‌دهد که میدان الکترومغناطیسی با فرکانس ۳۰ هرتز موجب اختلال در فرایند یادگیری و حافظه بینایی می‌شود که احتمالاً این تغییرات را از طریق تأثیر بر فاکتورهای دیگری به غیر از تغییر در ساختار و آناتومی مغزی اعمال می‌کند [۷۴]. در [۷۵] نیز نقص در یادگیری و حافظه در طولانی مدت در میدان ۱ تا ۲ میلی‌تسلا با فرکانس ۵۰ برای ۴۲ روز پرتوگیری هرتز برای رت‌ها گزارش شده است.

۱۰- اثر بر سیستم عصبی

در مطالعه‌ای که بر روی اثرات امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین، در فرکانس ۵۰ هرتز و در میدان‌های ۱ میلی‌تسلا روی سیستم عصبی رت انجام شد، مشاهده گردید پرتوگیری در مدت ۲۸ روز و روزی ۲ ساعت، باعث کمک به نورون‌زایی هیپوکمپوس ۲ به همراه کم‌خونی مغزی و تأثیر بر شکاف گذرگاه سیگنالینگ در رت‌ها می‌شود. همچنین در مدت ۶ روز و روزی ۳/۵ ساعت روی رت نوع C57bl/6 مطالعه‌ای انجام شد که در آن کمک به بقای نورون‌های تازه متولد شده و بهبود یادگیری و حافظه مشاهده گردید [۷۶].

۱۱- نتیجه‌گیری

با توجه به روند رو به رشد استفاده از وسایل الکتریکی و تسهیلاتی که در زندگی امروزی دارند، و از طرف دیگر اثرات احتمالی حاصل از آنها، تلاش هر چه بیشتر برای کاهش یا از بین بردن میزان اثرات میدان‌ها بدیهی به نظر می‌رسد. هر چند با رعایت نکات ذکر شده برای حفاظت در مقابل امواج فرکانس پایین و همچنین رعایت مقادیر بیان شده در استانداردها، می‌توان میزان اثرات بیولوژیکی امواج فرکانس پایین را تا حدی کاهش داد اما همکاری مهندسی و بیولوژیست‌ها ضروری است تا هم جنبه‌های سلامتی و هم جنبه‌های مهندسی میدان‌ها و آستانه‌های خطر به صورت دقیقتر بررسی گردد. همچنین آستانه‌های آسیب‌های احتمالی و روش‌های پیشگیری از آنها باید به نحو مطلوب به اطلاع عموم و اماکن شغلی برسد تا افراد تحت تابش امواج از خود مراقبت بیشتری نمایند و آسیب کمتری ببینند. به منظور جمع بندی، تحقیقات مطالعه شده در این مقاله در جدول (۶) ارائه شده است.

مراجع

- [1] F. S. Alqurashi, A. Trichili, N. Saeed, B. S. Ooi, and M.-S. Alouini, “Maritime Communications: A Survey on Enabling Technologies, Opportunities, and Challenges,” IEEE Internet of Things Journal, pp. 1–1, 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/jiot.2022.3219674>.
- [2] H. Aliyari, H. Sahraei, S. Gholabi, M.B. Menhaj, M. Kazemi, and Seyed Hossein Hosseinian, “The Effect of Electrical Fields From High-voltage Transmission Line on Cognitive, Biological, and Anatomical Changes in Male

^۲ هیپوکمپوس قسمتی از دستگاه کناره‌ای مغز که مرکز یادگیری و حافظه است.

^۱ این نوع موش دارای توالی ژنوم کامل (بعد از انسان) است.

- Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05563-8>.
- [34] R. Zendehdel, I. J. Yu, B. Hajipour-Verdom, and Z. Panjali, "DNA effects of low level occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields (50/60 Hz)," *Toxicology and Industrial Health*, vol. 35, no. 6, pp. 424–430, May 2019, doi: <https://doi.org/10.1177/0748233719851697>.
- [35] A. Antonopoulos, B. Yang, A. Stamm, W.-D. Heller, and G. Obe, "Cytological effects of 50 Hz electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro," *Mutation Research Letters*, vol. 346, no. 3, pp. 151–157, Mar. 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0165-7992\(95\)90047-0](https://doi.org/10.1016/0165-7992(95)90047-0).
- [36] H. Yaguchi, M. Yoshida, G. R. Ding, K. Shingu, and J. Miyakoshi, "Increased chromatid-type chromosomal aberrations in mouse m5S cells exposed to power-line frequency magnetic fields," *International Journal of Radiation Biology*, vol. 76, no. 12, pp. 1677–1684, Jan. 2000, doi: <https://doi.org/10.1080/09553000050201172>.
- [37] H. Yaguchi, M. Yoshida, Yosuke Ejima, and Junji Miyakoshi, "Effect of high-density extremely low frequency magnetic field on sister chromatid exchanges in mouse m5S cells," vol. 440, no. 2, pp. 189–194, Apr. 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/s1383-5718\(99\)00027-3](https://doi.org/10.1016/s1383-5718(99)00027-3).
- [38] I. Nordenson, Kjell Hansson Mild, G. Andersson, and M. Sandström, "Chromosomal aberrations in human amniotic cells after intermittent exposure to fifty hertz magnetic fields," *Bioelectromagnetics*, vol. 15, no. 4, pp. 293–301, Jan. 1994, doi: <https://doi.org/10.1002/bem.2250150404>.
- [۳۹] وفایی راد م.، اثرآنتی اکسیدانتی ویتامین C در کاهش آسیب های کروموزومی القا شده توسط میدان الکترومغناطیسی با فرکانس پایین در اریتروسیت های مغز استخوان موش کوچک آزمایشگاهی، فصلنامه سلول و بافت، ۱۳۹۱.
- [40] S. Koyama, T. Nakahara, K. Wake, M. Taki, Yasuhiro Isozumi, and Junji Miyakoshi, "Effects of high frequency electromagnetic fields on micronucleus formation in CHO-K1 cells," *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, vol. 541, no. 1–2, pp. 81–89, Nov. 2003, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2003.07.009>.
- [41] M. R. Scarfi et al., "50 Hz AC Sinusoidal Electric Fields Do Not Exert Genotoxic Effects (Micronucleus Formation) in Human Lymphocytes," *Radiation Research*, vol. 135, no. 1, pp. 64–64, Jul. 1993, doi: <https://doi.org/10.2307/3578397>.
- [42] M. Simkó, Ralf Kriehuber, and S. Lange, "Micronucleus formation in human amnion cells after exposure to 50 Hz MF applied horizontally and vertically," *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, vol. 418, no. 2–3, pp. 101–111, Oct. 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/s1383-5718\(98\)00116-8](https://doi.org/10.1016/s1383-5718(98)00116-8).
- [43] E. Saalman, Agneta Önfelt, and B. Gillstedt-Hedman, "Lack of c-mitotic effects in V79 Chinese hamster cells exposed to 50 Hz magnetic fields," *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, vol. 26, no. 2, pp. 335–338, Oct. 1991, doi: [https://doi.org/10.1016/0302-4598\(91\)80034-z](https://doi.org/10.1016/0302-4598(91)80034-z).
- [44] M. R. Scarfi, M. B. Lioi, O. Zeni, M Della Noce, C. Franceschi, and F. Bersani, "Micronucleus frequency and cell proliferation in human lymphocytes exposed to 50 Hz sinusoidal magnetic fields," *Health Physics*, vol. 76, no. 3, pp. 244–250, Mar. 1999, doi: <https://doi.org/10.1097/00004032-199903000-00005>.
- [45] Y. Cho, "The effect of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on the frequency of micronuclei and sister chromatid exchange in human lymphocytes induced by benzo(a)pyrene," *Toxicology thresholds*, *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 18, no. 3, pp. 326–334, May 1980, doi: <https://doi.org/10.1007/bf02443387>.
- [19] J. Patrick Reilly, *Applied Bioelectricity*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [20] T. Wessapan, P. Rattanadecho, N. Somsuk, M. Yamfang, M. Guptasa, and P. Montienthong, "Thermal Effects of Electromagnetic Energy on Skin in Contact with Metal: A Numerical Analysis," *Energies*, vol. 16, no. 16, p. 5925, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/en16165925>.
- [21] Hye Sun Kim et al., "Effect of Exposure to a Radiofrequency Electromagnetic Field on Body Temperature in Anesthetized and Non-Anesthetized Rats," *Bioelectromagnetics*, vol. 41, no. 2, pp. 104–112, Dec. 2019, doi: <https://doi.org/10.1002/bem.22236>.
- [22] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz), 2020.
- [23] ICNIRP General approach to protection against non-ionizing radiation, *Health physics*, 2002.
- [24] R. Torchio, A. Arduino, Luca Zilberti, and Oriano Bottauscio, "A fast tool for the parametric analysis of human body exposed to LF electromagnetic fields in biomedical applications," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 214, pp. 106543–106543, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106543>.
- [25] J. Malmivuo and R. Plonsey, *Bioelectromagnetism : principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields*. New York, N.Y. ; Oxford: Oxford University Press, 2002.
- [26] Y. Jiao, F. Cao, and H. Liu, "Radiation-induced Cell Death and Its Mechanisms," *Health Physics*, vol. 123, no. 5, pp. 376–386, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1097/hp.0000000000001601>.
- [27] H. Lai and B. B. Levitt, "Cellular and molecular effects of non-ionizing electromagnetic fields," *Reviews on Environmental Health*, vol. 0, no. 0, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.1515/reveh-2023-0023>.
- [28] J. B. Little, "Cellular, Molecular, and Carcinogenic Effects of Radiation," *Hematology/Oncology Clinics of North America*, vol. 7, no. 2, pp. 337–352, Apr. 1993, doi: [https://doi.org/10.1016/s0889-8588\(18\)30244-2](https://doi.org/10.1016/s0889-8588(18)30244-2).
- [29] C. T. Mihai, P. Rotinberg, F. Brinza, and G. Vochita, "Extremely low-frequency electromagnetic fields cause DNA strand breaks in normal cells," *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 12, p. 15, Jan. 2014, doi: <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-15>.
- [30] A. M. Khalil and W. Qassem, "Cytogenetic effects of pulsing electromagnetic field of human lymphocytes in vitro: chromosome aberrations, sister-chromatid exchanges and cell kinetics," *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, vol. 247, no. 1, pp. 141–146, Mar. 1991, doi: [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(91\)90041-1](https://doi.org/10.1016/0027-5107(91)90041-1).
- [31] Junji Miyakoshi, M. Yoshida, K. Shibuya, and M. Hiraoka, "Exposure to Strong Magnetic Fields at Power Frequency Potentiates X-ray-induced DNA Strand Breaks," vol. 41, no. 3, pp. 293–302, Sep. 2000, doi: <https://doi.org/10.1269/jrr.41.293>.
- [32] H. C. Lai and N. P. Singh, "Medical applications of electromagnetic fields," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 10, p. 012006, Apr. 2010, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/10/1/012006>.
- [33] A. Karimi, Farzaneh Ghadiri Moghaddam, and Masoumeh Valipour, "Insights in the biology of extremely low-frequency magnetic fields exposure on human health," *Molecular Biology Reports*, vol. 47, no. 7, pp. 5621–5633,



- 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/s0188-4409\(01\)00337-x](https://doi.org/10.1016/s0188-4409(01)00337-x).
- [57] T. A. Litovitz, D. Krause, M. Penafiel, E. C. Elson, and J. M. Mullins, "The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity," *Bioelectromagnetics*, vol. 14, no. 5, pp. 395–403, Jan. 1993, doi: <https://doi.org/10.1002/bem.2250140502>.
- [58] A. Morelli, S. Ravera, I. Panfoli, and I. M. Pepe, "Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on membrane-associated enzymes," *Archives of Biochemistry and Biophysics*, vol. 441, no. 2, pp. 191–198, Sep. 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.abb.2005.07.011>.
- [59] A. Wasak, R. Drozd, D. Jankowiak, and R. Rakoczy, "Rotating magnetic field as tool for enhancing enzymes properties - laccase case study," *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, Mar. 2019, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39198-y>.
- [۶۰] گل محمدی ع., هندبوک ایمنی در برق، انتشارات گل محمدی، ۱۳۹۴.
- [۶۱] نوشاد ب., ایمنی در برق، انتشارات علم آفرین، ۱۳۹۰.
- [62] <https://www.irpa.net/>
- [63] M. Garfinkel, S. Hosler, M. Roberts, J. Vogt, C. Whelan, and E. Minor, "Balancing the management of powerline right-of-way corridors for humans and nature," *Journal of Environmental Management*, vol. 330, pp. 117175–117175, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117175>.
- [64] <https://www.icnirp.org>
- [65] <https://standards.ieee.org>
- [66] H. Tian et al., "System-level biological effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: an in vivo experimental review," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 17, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1247021>.
- [67] www.safety.rochester.edu
- [68] <https://www.cdc.gov>
- [69] C. Carles et al., "Residential proximity to power lines and risk of brain tumor in the general population," *Environmental Research*, vol. 185, p. 109473, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109473>.
- [70] C. Malagoli et al., "Residential exposure to magnetic fields from high-voltage power lines and risk of childhood leukemia," *Environmental Research*, vol. 232, pp. 116320–116320, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116320>.
- [71] C. Brabant, A. Geerinck, C. Beaudart, E. Tirelli, C. Geuzaine, and O. Bruyère, "Exposure to magnetic fields and childhood leukemia: a systematic review and meta-analysis of case-control and cohort studies," *Reviews on Environmental Health*, vol. 38, no. 2, pp. 229–253, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0112>.
- [۷۲] الف. تکیه، و همکاران، بررسی اثر میدانهای الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین بر یادگیری و حافظه بینایی و ساختار آناتومیکی مغز در میمون‌های رزوس نر، دو ماهنامه طب جنوب، ۱۳۹۷.
- [73] H. Abkhezr, Sh. Babri, M. Farid-Habibi, F. Farajdokht and S. Sadigh Eteghad, "Effect of prenatal exposure to stress and extremely low frequency electromagnetic field on hippocampal and serum BDNF levels in male adult rat offspring," *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 2024, doi: <https://dx.doi.org/10.22038/IJBMS.2024.75459.16357>.
- [74] R. Eskandani and M. I. Zibaii, "Unveiling the biological effects of radio-frequency and extremely-low frequency electromagnetic fields on the central nervous system performance," *Bioimpacts*, 2024, doi: [doi: 10.34172/bi.2023.30064](https://doi.org/10.34172/bi.2023.30064)
- Letters, vol. 143, no. 1, pp. 37–44, Jun. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(03\)00111-5](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(03)00111-5).
- [46] Y. Cho, "The effect of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on the frequency of micronuclei and sister chromatid exchange in human lymphocytes induced by benzo(a)pyrene," *Toxicology Letters*, vol. 143, no. 1, pp. 37–44, Jun. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(03\)00111-5](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(03)00111-5).
- [47] M. Martínez, A. Úbeda, J. Moreno, and M. Trillo, "Power Frequency Magnetic Fields Affect the p38 MAPK-Mediated Regulation of NB69 Cell Proliferation Implication of Free Radicals," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 17, no. 4, pp. 510–510, Apr. 2016, doi: <https://doi.org/10.3390/ijms17040510>.
- [48] M. Barati et al., "Cellular stress response to extremely low-frequency electromagnetic fields (ELF-EMF): An explanation for controversial effects of ELF-EMF on apoptosis," *Cell Proliferation*, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1111/cpr.13154>.
- [49] J. Schimmelpfeng and H Dertinger, "Action of a 50 Hz magnetic field on proliferation of cells in culture," *Bioelectromagnetics* 18:177–183.1997, doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521186x\(1997\)18:2<177::aid-bem11>3.0.co;2-o](https://doi.org/10.1002/(sici)1521186x(1997)18:2<177::aid-bem11>3.0.co;2-o).
- [50] S. Kwee and P. Raskmark, "Changes in cell proliferation due to environmental non-ionizing radiation 1. ELF electromagnetic fields," *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, vol. 36, no. 2, pp. 109–114, Mar. 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0302-4598\(94\)01760-x](https://doi.org/10.1016/0302-4598(94)01760-x).
- [51] R. P. Liburdy, T. R. Sloma, R. Sokolic, and P. Yaswen, "ELF magnetic fields, breast cancer, and melatonin: 60 Hz fields block melatonin's oncostatic action on ER+breast cancer cell proliferation," *Journal of Pineal Research*, vol. 14, no. 2, pp. 89–97, Mar. 1993, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600079x.1993.tb00491.x>.
- [52] J.D. Harland, R.P. Liburdy, "Environmental magnetic fields inhibit the antiproliferative action of tamoxifen and melatonin in a human breast cancer cell line," *Bioelectromagnetics*, 1997, doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-186x\(1997\)18:8<555::aid-bem4>3.0.co;2-1](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-186x(1997)18:8<555::aid-bem4>3.0.co;2-1).
- [53] F. Bersani, *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*. Boston, MA: Springer US, 1999.
- B. Selmaoui, A. Bogdan, A. Auzéby, J. Lambrozo and Y. Touitou, "Acute exposure to 50 Hz magnetic field does not affect hematologic or immunologic functions in healthy young men: a circadian study," *Bioelectromagnetics*. 1996, doi: [10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1996\)17:5<364::AID-BEM3>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1996)17:5<364::AID-BEM3>3.0.CO;2-1).
- L. Bonhomme-Faivre, S. Marion, F. Forestier, R. Santini, and H. Auclair, "Effects of Electromagnetic Fields on the Immune Systems of Occupationally Exposed Humans and Mice," *Archives of Environmental Health: An International Journal*, vol. 58, no. 11, pp. 712–717, Nov. 2003, doi: <https://doi.org/10.3200/aeoh.58.11.712-717>.
- [54] F. Brisdelli, F. Bennato, A. Bozzi, B. Cinque, F. Mancini, and R. Iorio, "ELF-MF attenuates quercetin-induced apoptosis in K562 cells through modulating the expression of Bcl-2 family proteins," *Molecular and Cellular Biochemistry*, vol. 397, no. 1–2, pp. 33–43, Aug. 2014, doi: <https://doi.org/10.1007/s11010-014-2169-1>.
- [55] M. Barati et al., "Cellular stress response to extremely low-frequency electromagnetic fields (ELF-EMF): An explanation for controversial effects of ELF-EMF on apoptosis," *Cell Proliferation*, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1111/cpr.13154>.
- [56] S. Dasdag, C. Sert, Z. Akdag, and S. Batun, "Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on hematologic and immunologic parameters in welders," *Archives of Medical Research*, vol. 33, no. 1, pp. 29–32,





Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA)

Volume 2, Issue 6, Summer 2024

Papers List

<u>Number</u>	<u>Paper title/Authors</u>	<u>Page</u>
1	An Optimized Four-Bit Multiplier using Transmission Gate Diffusion Input Technique Javad Hasanli, Nabiollah Shiri*, Farshad Pesaran	1
2	Automatic recognition of digital speech using deep spiking neural network based on fuzzy weighting Melika Hamian, Karim Faez*, Sohila Nazari, Maliheh Sabeti	10
3	Data Analysis of Marketing Companies using Improved K-Means Clustering and LRFMM2 Model Atieh Mirzaei, Zahra Rezaei*	19
4	Investigating and analysis of the impact of service quality and trust on customer loyalty in e-commerce Alinaghi Rezaie, Saman Foroutani, Mohsen Katebi Jahromi*, Alireza Katebi Jahromi	30
5	Deep Learning Applications in Breast Cancer Imaging: Past Achievements and Future Challenges Zahra MaghsoodzadehSarvestani*, Salma Shirdel	39
6	Interaction between biological tissues and extremely low frequency fields Asmae Lak	50



Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA) Editorial Board

Director-in-Charge	Hamed Agahi	Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran
Editor-in-Chief	Taher Niknam	Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
Internal Manager	Zahra Maghsoodzadeh	Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran
<u>Editorial Board</u>		
<i>Professor</i>	Taher Niknam	Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
<i>Professor</i>	Rahim Ghayour	Shiraz University, Shiraz, Iran
<i>Professor</i>	Habibollah Abiri	Shiraz University, Shiraz, Iran
<i>Professor</i>	Hamid Khaloozadeh	K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran
<i>Professor</i>	Asghar Keshtkar	Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
<i>Professor</i>	Mohammad Bagher Menhaj	Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
<i>Professor</i>	Mohammad Naser Moghadasi	Islamic Azad University, S&R Branch, Tehran, Iran
<i>Professor</i>	Hasan Tavakoli	Baqiyatollah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
<i>Professor</i>	Seyedebrahim Afjeii	Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
<i>Associate Professor</i>	Hamed Agahi	Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran
<i>Associate Professor</i>	Ahmad Fakharian	Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran
<i>Associate Professor</i>	Amir-Masud Eftekhari-Moghadam	Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran
<i>Associate Professor</i>	Majid Ebnali	Shahrekord University
<i>Associate Professor</i>	Mohammad Sadegh Javadi Estahbanati	Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran



Islamic Azad University , Shiraz Branch
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis



نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها

Journal of Circuits, Data & Systems Analysis

